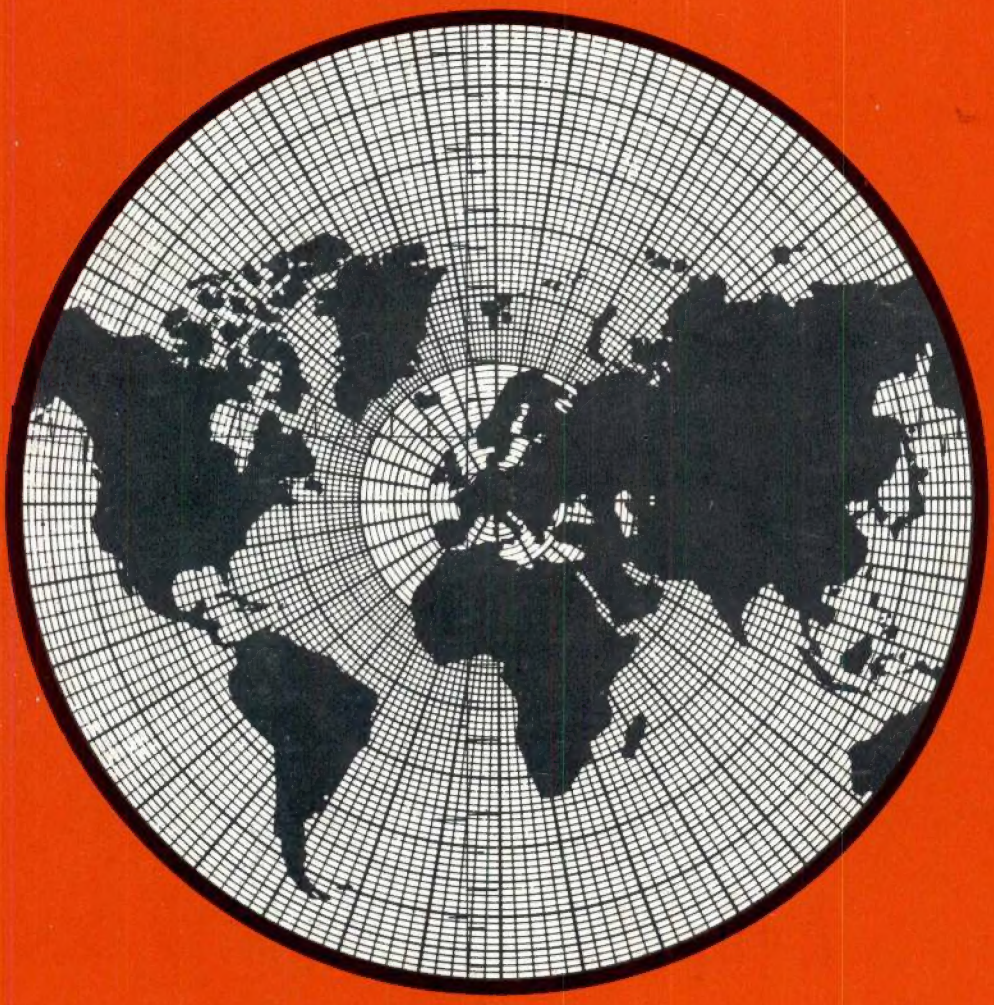
técnica



443 associação dos estudantes do instituto superior técnico
outubro 1977 revista de engenharia

Publicidade com critério.

Anuncie na

técnica REVISTA DE ENGENHARIA

BIBLIOTECA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA LISBOA

OFERTA

técnica

NÚMERO 443 OUTUBRO DE 1977 ANO LII VOLUME XXXIX PUBLICAÇÃO MENSAL

DIRECTOR

Delmar Baptista

COLABORADORES

José Luís S. V. Azevedo
João José Águas
Custódio Alves Tomé
António Madeira Cruz
Fernando Dias
José Pereira Pacheco
Sérgio Duarte Santos (F. C. Tecnologia — Coimbra)

DIRECÇÃO, REDACÇÃO E ADMINISTRAÇÃO

Av. Rovisco Pais, I. S. T. — Lisboa
Telefone 88 93 23

PROPRIETÁRIO

A. E. I. S. T.

•

ASSINATURAS:	5 n.os	10 n.os
Continente e Ilhas	200$00	350$00
Países de língua Portuguesa e Espanha...	220$00	380$00
Estrangeiro	—	550$00
Número avulso ...	—	60$00

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos autores.

•

COMPOSIÇÃO E IMPRESSÃO:

OF. GRÁFICAS DE RÁDIO RENASCENÇA
Rua Duques de Bragança, 6 — LISBOA - 2

SUMÁRIO

1 — L. AIRES-BARROS e J. F. PINHARANDA — O ensino da Geologia no I. S. T. para o curso de Engenharia Civil. Evolução e visão prospectiva.

Teaching of Geology at I. S. T. to Civil Engineering students. Evolution and prospective vision.

7 — J. LAGINHA SERAFIM — Desastres de barragens em 1976. O caso de Teton.

Rupture of dams during 1976. Rupture of Teton dam.

19 — H. J. S. ABREU SANTOS — Simulação numérica das estatísticas de Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein e Fermi-Dirac, baseada num gerador de números pseudoaleatórios.

The numerical simulation of the Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein and Fermi-Dirac statistics, based on a pseudorandom number generator.

39 — A. F. FERREIRA PINTO e A. F. BARROS — Ocorrência de scheelite em rochas calco-silicatadas da região de Vila Franca das Naves.

Occurrence of scheelite in calc-silicate rocks from Vila Franca das Naves area.

47 — ALFREDO DE PINHO MORGADO — Método directo de distribuição de momentos para o cálculo de estruturas sujeitas a esforços horizontais.

Direct moment distribution for structures with sideways.

51 — J. M. MADEIRA COSTA — Betão normal reforçado com armadura metálica.

Normal concrete reinforced with steel.

NOTA: a fotografia da capa da Técnica 442 era uma vista aérea do complexo de Sines.

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

Pág.

Fanafel. IV

Georges Fischer, AG VI

MAGUE III

Novobra, Lda. IV

Soc. Electricidade Brown Boveri... V

Sociedade Portuguesa Cavan... II

S. K. F., Lda. I

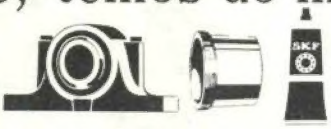
Sondagens e Fundações A. Cavaco II

SKF

A SKF não tem apenas rolamentos de esferas e de rolos .

Temos também rolamentos de agulhas

rótulas e embutes .

Evidentemente, temos do mesmo modo toda a espécie de acessórios  para rolamentos.

Além disso a SKF fabrica muitos outros produtos de qualidade.

Rodas e carretos cónicos, por exemplo

Fusos roscados de rolamento de alta precisão que transformam o movimento de rotação em linear.

Fabricamos também machos cassonetes

e brocas .

O mesmo se passa com pontos rotativos .

E muitos sabem que também temos um bom Serviço Técnico.

SOCIEDADE SKF LIMITADA

LISBOA - PRAÇA DA ALEGRIA, 66-A
TELEF.: 362301 - TELEGR.: ESKAEF - TELEX: 12156

PORTO - RUA DELFIM FERREIRA, 604
TELEF.: 692054 - TELEGR.: ESKAEF

Av. Visconde Valmor, 76-1.º - Tel. 766014 (7 linhas) Lisboa-1

GUIA DE ANÁLISE QUÍMICA DAS ÁGUAS

(Potáveis, Minerais e para a Indústria)

POR A. HERCULANO DE CARVALHO

Prof. do I. S. T. e do Instituto de Hidrologia de Lisboa

Preço 90$00

CÁLCULO DE PÓRTICOS

Método de cálculo simples e rápido, entrando em linha de conta com o deslocamento dos nós

por G. Kani

Preço 75$00

Pedidos à «Técnica» *Desconto 10 % aos assinantes*

técnica

NÚMERO 443 OUTUBRO DE 1977 ANO LII VOLUME XXXIX PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 378.962.4:550.8[624/628]

O ensino da Geologia no I. S. T. para o curso de Engenharia Civil. Evolução e visão prospectiva [*]

L. AIRES-BARROS e J. F. PINHARANDA
Lab. de Minerologia e Petrologia, I. S. T.

RESUMO

Os autores apresentam um resumo da evolução do ensino da Geologia para estudantes do Curso de Engenharia Civil do I. S. T. nos últimos 20 anos.

Em seguida é apresentada uma visão prospectiva do que deverá ser esse ensino e do equilíbrio a haver entre os conhecimentos dos fundamentos da Geologia, das suas metodologias e das suas aplicações a problemas concretos da Engenharia Civil.

As principais conclusões são apresentadas sob a forma de um diagrama onde se doseia a influência e a sobreposição que há entre os conhecimentos importantes nas diferentes fases da resolução de problemas reais da Engenharia Civil fortemente dependentes da Geologia.

São feitas, ainda, algumas considerações sobre os tipos de exames que os alunos realizam.

ABSTRACT

The authors present a summary of the evolution of the teaching of Geology to Civil Engineering students at Instituto Superior Técnico (I. S. T.) during the last 20 years.

After this they present their prospective vision on the teaching of Geology and Engineering Geology for that students. The aims of this teaching and the problems regarding the need of a balanced knowledge of the fundamentals of Geology, their methodologies and their applications to concrete problems of civil engineering are pointed out. The main bases considered in order to program the Geology course to Civil Engineering students are presented in diagramatic form where scientific and technical fields required for the resolution of problem of engineering geology are refered.

Some comments on examinations are also refered.

I — INTRODUÇÃO

Motivos vários têm contribuido para a incompreensão do papel importante das Geociências no contexto do Curso de Engenharia Civil. Nomeadamente, não é estranha a esse fenómeno certa má aceitação dos estudos de natureza geológica gerada, no liceu, por um ensino que hipertrofia a memorização.

Acresce que a visão nebulosa que os alunos têm do interesse futuro das Geociências na sua actividade profissional é outro óbice à sua boa aceitação na altura em que aparecem inseridas no curriculo escolar.

Decorre do exposto que é prioritário destruir o preconceito anti-geológico com que os alunos se apresentam no início dos cursos sobre Geologia. Este trabalho tem de ser acompanhado pelo despertar do interesse para uma ciência de âmbito diferente das restantes constituintes do curso de Engenharia Civil,

(*) Comunicação apresentada na «Reunião sobre Investigação e Ensino em Geotecnia», realizada no L. N. E. C. em 18 de Dezembro de 1975.

Manuscrito recebido para publicação em 6/1/77.

ou seja, com características epistemológicas bem diferenciadas que exigem metodologia adequada.

Conseguido este objectivo preliminar e fundamental, há que procurar transmitir conhecimentos basilares das Geociências, chamando a atenção para as suas implicações na concepção e execução das obras de engenharia civil.

Como fecho deste trabalho escolar e de dinamização e reformulação de conceitos, há que facultar aos alunos treino em algumas técnicas de uso habitual em Geologia de Engenharia. Deverão ser focados especialmente problemas ligados à interpretação correcta dos resultados, quantificados ou não. Deve ainda motivar-se o aluno para a escolha criteriosa das técnicas geológicas a usar e para a aceitação das suas eventuais limitações.

Não tendo de modo algum a pretensão de formar especialistas neste domínio, tem sido preocupação constante promover a compreensão da terminologia geológica, indispensável ao entendimento e colaboração entre profissionais de engenharia civil e de geologia aplicada.

Este aspecto é de grande relevância como factor de êxito na realização e condução de obras em que estes dois domínios de conhecimento se aplicam. A experiência mostra, com clareza, que esta incompreensão semântica está na origem de alguns inêxitos cuja responsabilidade se deve repartir igualmente pelos intervenientes.

II — O ENSINO DA GEOLOGIA PARA O CURSO DE ENG.ª CIVIL ATÉ 1970

No currículo escolar do curso de Engenharia Civil que vigorou até 1955, figurava, no 3.º ano uma cadeira anual denominada «Curso Geral de Mineralogia e Geologia». Como disciplina facultativa, podiam os alunos frequentar «Geologia», cadeira do 4.º ano do Curso de Engenharia de Minas.

A reformulação curricular operada em 1955 nada de novo trouxe quanto ao ensino das cadeiras referidas para o Curso de Engenharia Civil. Para sermos mais precisos, mudou o nome do «Curso Geral de Mineralogia e Geologia» para «Mineralogia e Geologia Gerais»! Esta mudança de nome não foi tão inofensiva como pode parecer... É que o diploma de 1955 a que nos referimos (Decreto n.º 40 378 de 14 de Novembro de 1955) criou uma cadeira com o mesmo nome, para o Curso de Engenharia Químico-Industrial (actual curso de Engenharia Química), situada no 1.º ano. Este facto levou algumas Escolas Superiores a fundir os dois cursos (1.º ano para «Química» e 3.º ano para «Civil»), dando um programa comum!

No I. S. T. conseguiu-se evitar esta fusão que a burocracia aconselhava, mas o bom senso repudiava. Todavia não foi pacífica a tentativa (com êxito) do desdobramento de «uma mesma disciplina», em duas.

Os princípios que informaram esta cadeira («Mineralogia e Geologia Gerais») podem considerar-se bastante «tradicionais» e um pouco «enciclopedistas».

Diremos «tradicionais» na medida em que se procurou ajustar a uma cadeira anual e «geral» o essencial de Geologia Geral, seguindo a experiência pessoal bastante apoiada na literatura, aliás abundante. Diremos ainda um pouco «enciclopedistas» porque, com critério e conhecendo as dificuldades, se optou por iniciar o curso pelos princípios gerais da Cristalografia, passando-se aos elementos da sistemática mineralógica com ênfase para os silicatos. Sobre esta base se apoiavam as lições de petrografia. Nisto se consumia metade do curso. A seguir expunham-se os fundamentos da Geologia Geral (Geomorfologia, Tectónica, Elementos de Estratigrafia) e um pouco de Geologia de Portugal. Dava-se certa ênfase a capítulos como a estrutura dos silicatos, os minerais argilosos, os fenómenos de alteração e alterabilidade de rochas. Faziam-se algumas excursões aos arredores de Lisboa (particularmente à região de Cascais e Sintra) e nos últimos 3 anos de regência desta cadeira fez-se uma excursão mais longa, de vários dias, cobrindo o vale do Tejo, o percurso de V. Velha de Ródão até à Serra da Estrela. Em seguida, das regiões do Maciço Hercínico descia-se pelo Buçaco até à Orla Mesozoica ocidental e, por Coimbra e Porto de Mós, penetrava-se no maciço calcário estremenho para regressar a Lisboa pela margem direita do Tejo.

Os cursos práticos acompanhavam «pari passu» o curso teórico. Dava-se particular ênfase à petrografia (análise macroscópica) e ao estudo das cartas geológicas. A culminar, havia que realizar um corte geológico a partir da carta, interpretá-lo com certo pormenor e elaborar uma memória descritiva.

A traço grosso foi este o «ambiente» de uma cadeira frequentada anualmente por cerca de meia centena de alunos. Cadeira aceite, na generalidade, com agrado pelos alunos, até pela feição prática, com chamamento à observação sistemática, com excursões ao terreno e culminando com uma excursão de alguns dias ao centro do país. Esta excursão foi sempre organizada integralmente pelos alunos embora coadjuvados em tudo pelo corpo docente.

Quanto à cadeira facultativa de Geologia, era frequentada por uma percentagem diminuta de alunos, 2 a 5% (!), sempre os melhores estudantes. Aí se lhes dava uma feição mais aplicada aos princípios que levavam do curso geral.

III — O ENSINO DA GEOLOGIA PARA O CURSO DE ENG.ª CIVIL A PARTIR DE 1970

O Decreto n.º 540/70 de 10 de Novembro de 1970 procurou proceder à actualização dos planos de estudos dos cursos de engenharia professados nas Universidades portuguesas «de harmonia com as normas pedagógicas que a experiência tem revelado eficientes» como se afirma no seu preâmbulo.

Para os cursos professados no I. S. T., no domínio do curso de Engenharia Civil, optou-se por um curso de «Mineralogia e Geologia Gerais» no 1.º semestre do 2.º ano e por um curso de «Geologia Aplicada» no 2.º semestre do 3.º ano.

Desde já se fazem alguns reparos a este posicionamento das mencionadas disciplinas.

a) Tem-se revelado contraproducente a separação das duas cadeiras por um semestre em «branco».

b) É fundamental que a Topografia preceda o curso de «Mineralogia e Geologia Gerais».

c) É controverso o início deste curso eminentemente prático no 2.º ano ao lado de disciplinas de índole muito diferente, como a Física e a Matemática, e, sobretudo, quando os alunos ainda não dispõem de uma perspectiva da sua futura actividade profissional.

Do exposto decorre que estas duas cadeiras, a manterem-se, numa reformulação futura deviam colocar-se: a de «Mineralogia e Geologia Gerais» no 1.º semestre do 3.º ano (trocando com Topografia); a de «Geologia Aplicada» deve permanecer no 2.º semestre do 3.º ano.

Vejamos agora como foi encarada a reformulação do curso anual referido no capítulo anterior à luz dos novos interesses, tendo em atenção o aparecimento de um semestre dedicado à «Geologia Aplicada».

No primeiro ano de aplicação do novo esquema curricular foi esboçada a tentativa de:

a) condensar na cadeira semestral de «Mineralogia e Geologia Gerais» o essencial do curso anual anterior,

b) reservar a nova cadeira semestral de «Geologia Aplicada» para leccionar matérias mais directamente ligadas a problemas de geologia de engenharia.

Logo se verificou que tal via só se poderia concretizar à custa dum acentuado abaixamento do nível e pormenor do curso.

De facto, sem tal «sacrifício», haveria «transbordo» de matéria da cadeira geral para o curso de Geologia Aplicada, o que, nas circunstâncias então existentes, foi considerado preferível.

Mas compreendeu-se a necessidade de uma reformulação mais radical do curso, de molde a permitir ajustar as duas cadeiras semestrais a matérias mais consentâneas com as respectivas designações, isto é, reservando de facto a cadeira de «Geologia Aplicada» para questões de geologia de engenharia. Essa profunda modificação do curso não poderia ser efectivada de imediato.

Assim, nesses primeiros tempos, a cadeira semestral de «Mineralogia e Geologia Gerais» foi preenchida, segundo o esquema clássico, por noções de cristalografia, mineralogia (com ênfase na mineralogia das rochas e breves referências aos minerais metálicos) e petrografia, incluindo alteração e alterabilidade das rochas.

Na cadeira semestral de «Geologia Aplicada», a matéria abrangia assuntos relacionados com Geologia Física e um breve bosquejo da Geologia de Portugal. Como conhecimentos de Geologia de engenharia, uma introdução aos métodos de prospecção, com especial ênfase para o estudo das sondagens, algumas lições de Hidrogeologia, e algumas técnicas de ensaios geotécnicos.

Nas aulas práticas, os alunos acompanhavam, nos moldes habituais, a matéria leccionada nas aulas teóricas.

Vicissitudes várias, nomeadamente interrupção das aulas por movimentos reinvidicativos, impediram que até ao ano lectivo de 1974/75, se concretizasse o objectivo acima referido de concentrar toda a matéria introdutória na cadeira de «Mineralogia e Geologia Gerais», permitindo alargar o campo de ensino da Geologia de engenharia.

IV — LINHAS GERAIS PARA A ORIENTAÇÃO DUM PROGRAMA DAS CADEIRAS DE GEOLOGIA PARA O CURSO DE ENG.ª CIVIL

Referiu-se que os objectivos da inclusão das cadeiras de âmbito geológico no curso de Engenharia Civil não poderiam ser os de formar técnicos especializados em Geologia Aplicada, mas, primordialmente:

— chamar a atenção para a necessidade de encarar as implicações geológicas na concepção e execução das obras de engenharia civil;
— obter um mínimo de compreensão da terminologia geológica, para facilitar o entendimento e a colaboração entre o engenheiro civil e o especialista de geologia aplicada.

Esta limitação de objectivos não resulta da consideração de incompatibilidade entre o engenheiro civil e qualquer especialização no domínio da geologia aplicada, mas somente porque essa eventual via de actuação não se poderá considerar normal como «saída» dum curso de engenharia civil.

Para atingir aqueles objectivos parece acertada a realização de alguns trabalhos práticos, em parte de carácter mais acentuadamente geológico, a partir dos quais se procurarão focar aspectos de aplicação da geologia à engenharia civil, nomeadamente por discussão de casos concretos e por apreciação de trabalhos realizados, e também pelo estudo de bases técnico-científicas indispensáveis para a resolução das questões e solução de problemas de aplicação.

O problema das matérias que deverão ser focadas no decurso da cadeira de «Geologia Geral» não pode ser definido sem ser em conjugação com o da cadeira complementar de «Geologia Aplicada», e sem considerar os cursos de «Mecânica dos Solos» e de «Mecânica das Rochas», que fazem parte — obrigatória ou facultativamente — do curso de Engenharia Civil.

Para o estudo desse programa, parece possível classificar os conhecimentos de índole geológica no que respeita à sua aplicação em engenharia civil, em três domínios interdependentes e interpenetrados:

— *Bases científicas fundamentais*
— *Métodos gerais de estudo e ensaio*
— *Aplicações a obras de engenharia civil*

Com vista a delinear um programa de estudos adequados aos interesses do futuro engenheiro civil

e do geólogo de engenharia no decurso da resolução de problemas genéricos. Isto será feito com ajuda do esquema apresentado adiante, que se procurará explicar. (Fig. 1).

A primeira etapa será a definição do problema, da responsabilidade dos técnicos de engenharia civil, para a qual se deverão servir dos seus conhecimentos dos problemas específicos de geologia aplicada ao género de obra em estudo e das bases científicas no domínio geológico.

A partir dessa definição, os técnicos de geologia de engenharia, em colaboração com os de engenharia civil, nomeadamente os especialistas de mecânica das rochas e dos solos, elaborarão o *programa de reconhecimento*. Para este são essenciais profundos conhecimentos de processos de prospecção e de ensaio de geologia aplicada ao tipo de obra e das bases científicas fundamentais. A colaboração dos técnicos de engenharia civil é essencial para a definição de prioridades na execução do programa, de forma a que os primeiros elementos a obter possam dar indicações decisivas para a localização e concepção da obra e possam ser aproveitados para eventuais ajustamentos do resto do programa de prospecção.

A campanha de reconhecimento, em geral a cargo de uma empresa especializada, e estreitamente acompanhada pelos especialistas de geologia de engenharia, obriga, principalmente, a boa compreensão dos processos de reconhecimento. Se bem que neste escalão, pareça secundário o papel dos técnicos de engenharia civil, considera-se de grande utilidade que estes acompanhem com atenção o desenrolar da campanha.

Outra fase que se segue obriga a nova colaboração entre geólogos de engenharia e engenheiros civis: trata-se da *análise dos resultados*, para a qual é fundamental um profundo conhecimento das características específicas dos vários métodos de investigação utilizados, das suas virtualidades e limitações no que respeita ao caso concreto em estudo, das bases científicas para estruturar interpretações correctas diversificadas e para as discutir, e ainda das questões de geologia aplicada às obras. Esta fase deve acompanhar a própria execução da campanha de reconhecimento.

O escalão seguinte é o da apresentação de um *relatório de reconhecimento* com as indicações, informações e recomendações para a concepção e execução das obras. Muito frequentemente, tanto o geólogo de engenharia como o engenheiro civil, admitem que este relatório fecha a intervenção do primeiro. Tal ideia parece errada pois, por melhor que seja o especialista de geologia aplicada e por mais fiéis que tenham sido os resultados da campanha de reconhecimento, a sua informação final resulta sempre duma interpretação, duma generalização a partir de elementos dispersos, pontuais ou lineares, quanto muito, para a caracterização do volume interessado pelas obras. Portanto, o geólogo de engenharia tem de esclarecer as suas informações na fase de *elaboração do projecto*, na qual os técnicos de engenharia civil aplicarão os seus conhecimentos de geologia aplicada e de geologia geral discutindo com aquele as implicações que a sua interpretação acarreta na concepção do trabalho. Finalmente, o especialista de geotecnia deverá acompanhar a execução da obra, em inteira colaboração com os engenheiros do estaleiro, para ajustar a sua interpretação à medida que forem surgindo elementos fornecidos pelos próprios trabalhos e para orientar as necessárias operações de consolidação, e tratamento dos terrenos e mesmo de reconhecimento complementar.

Em resumo, os técnicos de engenharia civil, no que diz respeito a trabalhos relacionados com geologia aplicada, intervém principalmente:

— *na definição do problema*, tendo em atenção as características das obras e suas implicações geológicas;
— *na programação dos trabalhos de reconhecimento*, definindo prioridades e ensaios geotécnicos necessários;
— *na apreciação dos resultados* e na adaptação das obras às características reveladas pelo reconhecimento.

Embora estas intervenções sejam em colaboração com geólogos de engenharia, elas obrigam os engenheiros civis a utilizar técnicas e conhecimentos geológicos e geotécnicos.

Assim, no decurso das duas cadeiras de âmbito geológico do curriculo de Engenharia Civil parece indispensável focar diversos capítulos dos três domínios de conhecimento considerados, com especial atenção para os métodos de prospecção e para as bases científicas — que se pensa poderem ser preferencialmente objecto de estudo teórico-prático — referindo sempre que possível, nas mesmas aulas teórico-práticas e também em aulas de tipo conferência aberta à discussão, como é óbvio, aspectos ligados aos problemas especiais de aplicação. Sempre que possível, estes conhecimentos teóricos ou teórico-práticos, deverão ser reforçados em visitas de estudo.

É impossível leccionar um curso completo de Geologia Aplicada à Engenharia Civil em duas cadeiras semestrais, e pensa-se mesmo que não é esse o objectivo da respectiva inclusão no currículo lectivo. Há necessidade, portanto, de optar pelo maior desenvolvimento de determinados assuntos em prejuízo dos restantes.

Nos campos das bases científicas e dos métodos de reconhecimento e ensaio parece, contudo, preferível referir nas aulas uma gama bastante geral dos assuntos, embora sem grande profundidade, incompatível aliás com a especialização dos alunos. Esta relativa «leveza» não pode significar a redução do curso a um somatório de definições, pois julga-se imprescindível a verdadeira compreensão dos fenómenos e das técnicas.

Já no domínio da Geologia Aplicada à Engenharia Civil, se pensa vantajoso estabelecer, de acordo com os alunos, um esquema de prioridades para desenvolvimento dos assuntos a leccionar, necessariamente em número limitado.

V — O PROBLEMA DE AVALIAÇÃO DOS CONHECIMENTOS

Até 1970, o sistema de avaliação de conhecimentos seguiu o método tradicional do exame escrito e oral individual. O exame oral era requerido aos alunos cuja informação da prova escrita se situava no domínio 9-12 valores. Abaixo daquela informação o aluno estava reprovado, a menos que a informação prática fosse relevante. Neste caso o aluno era admitido a exame oral alargado e profundo. Acima de 12 valores o exame oral era facultativo.

Todavia nos anos lectivos 1969/70 e 1970/71 ensaiou-se, a solicitação dos alunos, o exame colectivo. Este exame versava sobre temas propostos e desenvolvidos por grupos de alunos (de 3 a 5) em trabalho escrito. Estes documentos, bem como os trabalhos práticos, em especial o corte geológico e seu relatório, eram analisados em exame oral colectivo. O júri era constituído por 3 elementos que trocavam «impressões examinatórias» com o grupo de discentes.

Dois problemas se levantaram:

1 — A despeito de se apresentar um vasto leque de assuntos para desenvolvimento, houve polarização do interesse dos alunos em um núcleo restrito de temas. Daqui resultou certa repetição de trabalhos.

2 — Com o empolamento do número de alunos tornou-se difícil em tempo oportuno «ver e corrigir» o grande número de relatórios. Tenha-se em atenção que o espacejamento inter-exames das várias disciplinas era de 8 a 10 dias. Daqui a dificuldade prática de corrigir e examinar oralmente tão largo número de grupos de trabalho.

Como processo de avaliação de conhecimentos verificou-se que era demasiado elevado o número de alunos que «vivia à sombra» dos 2 a 3 trabalhadores do grupo. Deste modo, cerca de 50% dos componentes dos grupos era transportado por arrastamento.

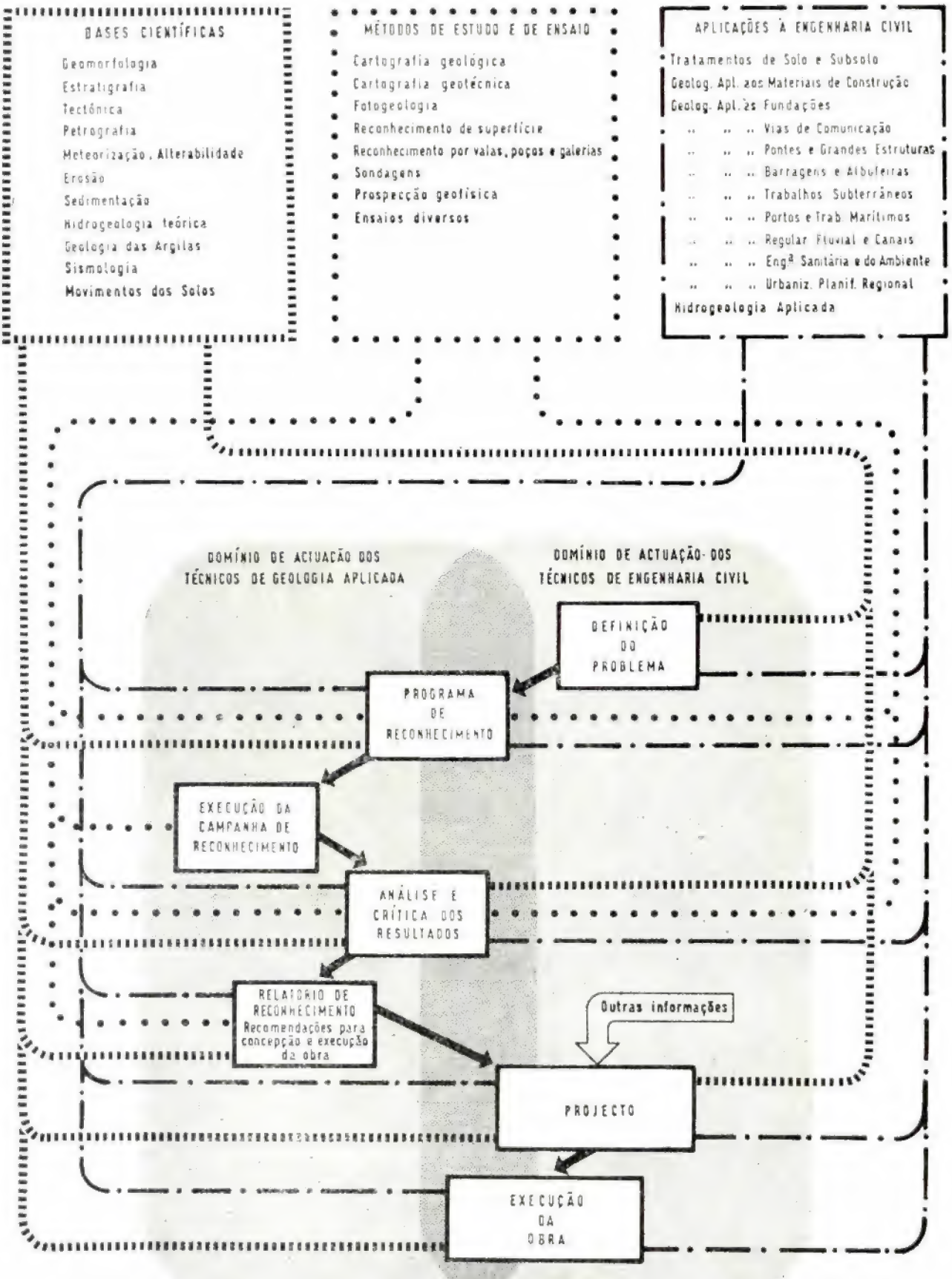
Todas as experiências quer de transmissão de conhecimentos, quer da sua avaliação tem deparado, nas cadeiras em causa, com a questão dos grandes números. Os signatários têm experiência colhida quer em cursos de pequenos números (v. g. Minas e Metalurgia), quer dos grandes números de alunos (v. g. Civil e Química) e ainda da expansão do curso de civil (passando de 50 a 200 alunos) com não acompanhamento de dilatação correlativa da estrutura (instalações, material, docentes, etc.).

Com a reformulação das referidas cadeiras, também houve que repensar o sistema de avaliação dos conhecimentos. Assim adoptou-se quer o sistema dos testes sintéticos com pergunta e respostas múltiplas competindo ao aluno eleger a afirmação certa, quer os testes teórico-práticos com relativa frequência ao longo do período escolar. Estas experiências foram positivas, apenas havendo a referir que há que baixar drasticamente o número de alunos por docente a fim de não tornar estes máquinas de testar alunos. Refira-se ainda a dificuldade de organizar testes significativos, onde os alunos possam, de facto revelar os seus conhecimentos.

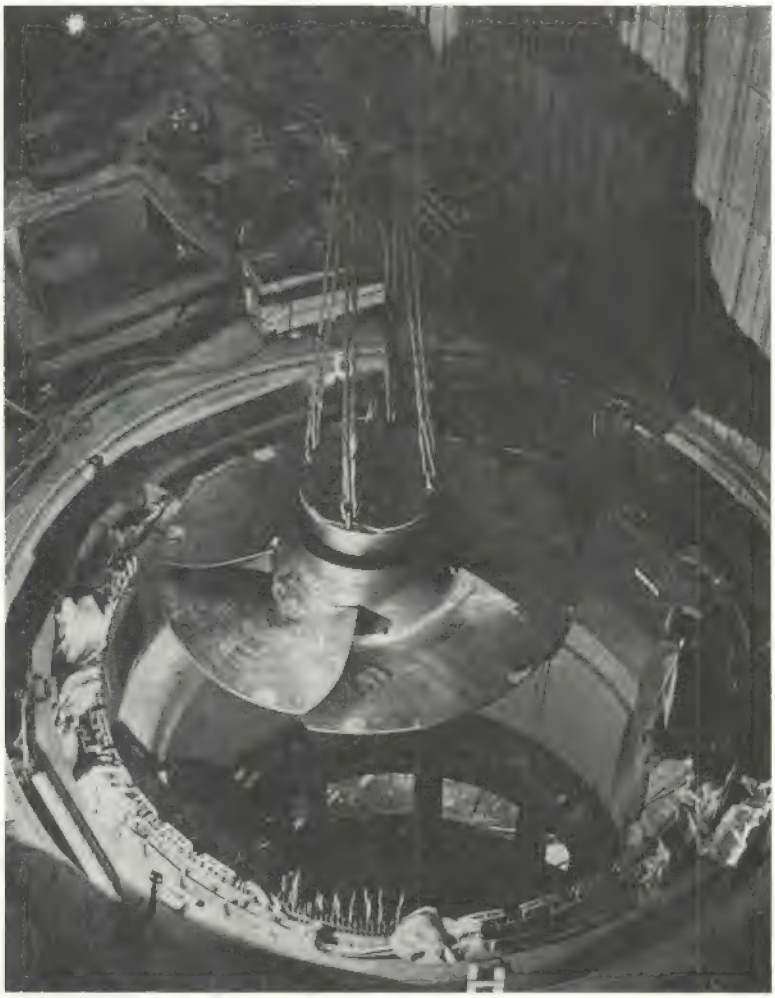
O ideal seria quase abolir o teste formal. Para atingir uma forma racional de avaliação de conhecimentos há que aliar a razoável razão discente/ /docente com uma melhor consciência pedagógica do aluno médio português. Esta, aliás, decerto se fortaleceria com a melhoria da relação, docente/ /discente, que talvez possibilitasse formas pedagogicamente correctas de isolar e recuperar — ou rejeitar, em casos extremos — o cábula, o oportunista, o parasita, dos que estudam. É este que, defraudando de todas as formas o país, procurando caminhar na sombra dos mais honestos ou mais válidos, se agarra, quando o não consegue, a um tipo degradante de contestação, que mais não é que a defesa cega, e a todo o custo, de privilégios sociais injustos.

Cabe aqui afirmar o respeito que merece, como sempre mereceu nestas cadeiras, a contestação vivificadora, que não procura «facilidades», mas a mais correcta orientação do esforço colectivo docentes/discentes que deve ser o trabalho do ensino.

Mais ultimamente a avaliação dos conhecimentos diluiu-se e as suas consequências devem ser consideradas. Todavia ensaiou-se a discussão oral dos trabalhos executados nas aulas práticas pelos alunos, agora em grupos de 2 e excepcionalmente de 3, cabendo aos examinandos a «defesa», isto é, a justificação das soluções apresentadas.


BASES CIENTÍFICAS
Geomorfologia
Estratigrafia
Tectónica
Petrografia
Meteorização, Alterabilidade
Erosão
Sedimentação
Hidrogeologia teórica
Geologia das Argilas
Sismologia
Movimentos dos Solos
MÉTODOS DE ESTUDO E DE ENSAIO
Cartografia geológica
Cartografia geotécnica
Fotogeologia
Reconhecimento de superfície
Reconhecimento por valas, poços e galerias
Sondagens
Prospecção geofísica
Ensaios diversos
APLICAÇÕES À ENGENHARIA CIVIL
Tratamentos de Solo e Subsolo
Geolog. Apl. aos Materiais de Construção
Geolog. Apl. às Fundações
" " " Vias de Comunicação
" " " Pontes e Grandes Estruturas
" " " Barragens e Albufeiras
" " " Trabalhos Subterrâneos
" " " Portos e Trab. Marítimos
" " " Regular. Fluvial e Canais
" " " Engª Sanitária e do Ambiente
" " " Urbaniz. Planif. Regional
Hidrogeologia Aplicada
DOMÍNIO DE ACTUAÇÃO DOS TÉCNICOS DE GEOLOGIA APLICADA
DOMÍNIO DE ACTUAÇÃO DOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA CIVIL
DEFINIÇÃO DO PROBLEMA
PROGRAMA DE RECONHECIMENTO
EXECUÇÃO DA CAMPANHA DE RECONHECIMENTO
ANÁLISE E CRÍTICA DOS RESULTADOS
RELATÓRIO DE RECONHECIMENTO
Recomendações para concepção e execução da obra
Outras informações
PROJECTO
EXECUÇÃO DA OBRA

MAGUE



«Montagem de 1 das rodas para as 3 turbinas de 80 MW para a Central da Valeira (E.D.P. — Electricidade de Portugal)».

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L.

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

DESPOEIRAGEM

FILTROS TECIDOS EM PEÇAS, PANOS, SACOS, MANGAS

DE QUALQUER FIBRA NATURAL OU SINTÉTICA

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

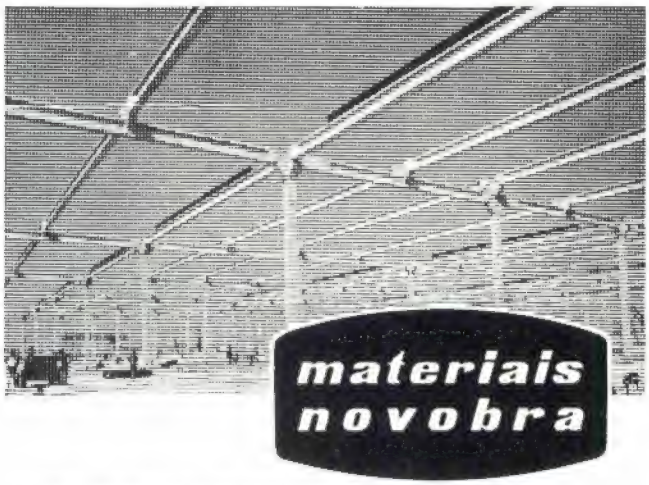
APART.: 9
TELEF.: 52091 PBX
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

PÓRTICOS DE GRANDE VÃO

Pórticos até 22,00 m de vão e pilares até 9,00 m de altura, afastados de 12,00 m no interior e de 6,00 m no perimetro exterior. As fundações são minimas devido ao baixo peso da estrutura (≃ 60 kg/m2). São possiveis adaptações para pontes rolantes.



A mais vasta gama em pré-fabricados de betão

Pré-fabricação total ou parcial · Pavimentos · Coberturas · Asnas · Perfis especiais
Post-Esforço «Losinger» · Pontões · Vigas de grande vão · Pórticos «Crendon»
Pórticos «Guiraudie & Auffeve» · Pavimento «Trief» · Protecção de segurança «Trief»
Mosaicos · Garagens · Tubos · Blocos de Leca · Espaçadores de Betão
Estacas para Vinhas e Pomares · Travessas para Caminhos de Ferro

Fábricas em: Lisboa, Leiria, Lagoa, Guarda e Moita.
Stands de exposição em: Aveiro, Évora e Faro
Sede: Av. Est. Unidos da América, 100, 5.º - Dto. – Lisboa 5
Telefones – Serviços Administrativos: 77 48 32 - 77 29 53 · Telex: 18375 Novoba P
Serviços Técnicos: 71 41 16/7/8 - 71 93 31/2

CONSTRUA COM CONFIANÇA - CONSULTE-NOS

MEXIA HEITOR E BRASÃO FARINHA

TABELAS PARA O CÁLCULO DO BETÃO ARMADO

TECNICA

revista da associação dos estudantes do Instituto Superior Técnico

LISBOA

NÚMERO 443 OUTUBRO DE 1977 ANO LII VOLUME XXXIX

C. D. U. 627.82:627.89

Desastres de barragens em 1976

O CASO DE TETON (*)

J. LAGINHA SERAFIM

(*) Baseado na palestra proferida no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em 30 de Dezembro de 1976.

Manuscrito recebido para publicação em 11/1/77.

RESUMO

Este trabalho trata da rotura de barragens durante o ano de 1976 e está na sequência do trabalho apresentado pelo autor sobre o mesmo assunto no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em 1960. Apresentam-se descrições de roturas em barragens relativamente pequenas (mais de 15 m de altura) na Carolina do Norte, no Paquistão e na Noruega, mas o trabalho trata essencialmente da rotura da barragem de Teton nos Estados Unidos, em Junho de 1976. Esta é a barragem mais alta (103 m) que até hoje rompeu. Apresenta-se a sequência dos acontecimentos durante a rotura, atribuindo esta ao facto da rocha ser muito permeável, à ineficiência das cortinas de injecção, e ainda ao facto de existir uma trincheira corta-águas, na qual se produziu um efeito arco que possivelmente permitiu fracturação hidráulica. A erosão interna e subsequente erosão no aterro perto da rocha foram, sem dúvida, as causas principais.

SUMMARY

This paper concerns the rupture of dams during 1976 and continues the work presented by the author in 1960 at the LNEC (National Laboratory of Civil Engineering) on the same subject. Descriptions of ruptures of relatively small dams (above 15 m) in North Carolina, Pakistan and Norway are presented. Most of the paper concerns the rupture of the Teton Dam in the United States in June, 1976. This was the highest dam (103 m) to ever have failed. The sequence of events is presented with photographs. The rupture is attributed to the very pervious rock, the inefficiency of the grout curtains and the existence of a key trench, in which arching was produced, possibly allowing hydraulic fracturing. Piping and subsequent intense erosion of the soil near the rock were certanly major causes.

1. ROTURAS EM 1976

O presente trabalho diz respeito às roturas de barragens que tiveram lugar durante o ano de 1976.

Foi em 1960 que, também no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, tivemos ocasião de referir os acidentes graves em barragens ocorridos em 1959. Terão, todos aqueles que estão interessados nessas estruturas, tido ocasião de notar que esse também foi um ano tristemente célebre na engenharia. De facto, dão-se então acidentes, únicos na história da construção de barragens, em França, em Espanha e no Brasil, onde, efectivamente, romperam obras importantes, uma de betão, outra de alvenaria e outra de terra e também se produziram alguns graves acidentes que não chegaram até à rotura, mas que trouxeram igualmente graves preocupações, na Índia, no Peru e na Jugoslávia. Portugal, poucos anos depois, não escapou à «lista negra», vendo a destruição por uma cheia de uma barragem de enrocamento quase concluída.

A rotura de uma barragem, principalmente quando ela é importante, é um acontecimento de tal forma grave e insólito que, quase sempre, muda o caminho das ideias e os critérios de projecto destas obras. De facto, sempre tem sido assim. Neste ano, mais do que nunca, é de crer que tenhamos que rever muitas das ideias expressas nos tratados. 1976 foi um ano tristemente célebre, na medida em que a imprensa diária e a imprensa técnica noticiaram seis acidentes. Porém, quanto aos casos que ocuparam os jornais, o da Colômbia não se passou com uma barragem, mas com uma outra obra hidráulica. Foi um canal de encosta que rompeu pelo lado exterior, tendo a água enchido uma depressão que havia nessa encosta, o que produziu repentinamente o seu desabamento, indo a água armazenada e as rochas destruir grande parte da aldeia de Pereira, na Colômbia, onde, pelo menos, 80 pessoas desapareceram do mundo dos vivos. A Colômbia tem sido um país muito castigado com estes acidentes. Já em 1972 tinha caído lá uma outra obra que provocou um número de mortos semelhante. Também os jornais e revistas técnicas anunciaram a queda de uma barragem no Vietnam. Há, no entanto, lugar para dúvidas sobre se teria efectivamente sido uma rotura. Na Carolina do Norte (E. U. A.), no Paquistão e na Noruega houve efectivamente rotura de barragens que, tal como a que nos vai ocupar mais, a barragem de Teton nos Estados Unidos, são todas de terra e com mais de quinze metros de altura.

A barragem de Carolina do Norte, com 17 m de altura, era uma obra de uma entidade particular, pelos vistos construída com pouca técnica. Em 1963 já se notava que todo o seu paramento de jusante aparecia saturado, pelo que estava sujeita a certa vigilância por parte das autoridades desse Estado. Mesmo assim, não foram a tempo com o remédio e a barragem caíu por si própria, depois de chuvas intensas, tendo provocado quatro mortes. Pelos elementos que dispomos, talvez se possa chegar à conclusão que houve erosão interna.

A barragem de Bolan, no Paquistão, com 19 m de altura, 50 m de comprimento, 800 000 m3 de terras e 90 000 000 m3 de água armazenada, foi completada em 1961 e foi totalmente destruída por uma grande cheia que ocorreu em Setembro. Essa cheia arrastou e rompeu, provavelmente, mais oito pequenas barragens (todas de altura inferior a 15 m portanto). Os efeitos desta catástrofe, onde avultam principalmente os devidos ao carácter excepcional da cheia, que a rotura das barragens ampliou, teriam segura-

mente sido menores se o descarregador da barragem de Bolan tivesse maior capacidade. De facto, as notícias indicam que o descarregador foi absolutamente insuficiente para todo o caudal e a água passou sobre a barragem, destruindo-a completamente. Foram muitas as aldeias afectadas, donde 10 000 habitantes foram evacuados por helicópteros e outros meios, tendo desaparecido algumas centenas de pessoas.

Na Noruega caíu em Março a barragem de Rappojern, uma obra hidroeléctrica projectada com boa técnica por uma firma consultura que já havia usado o mesmo tipo de projecto em dez outras obras semelhantes. Não conseguimos até hoje obter nenhumas informações mais. O assunto está em inquérito na Noruega e estão prometidas, a todo o mundo teécnico, explicações pormenorizadas. O que não há é dúvida que foram vários os factores intervenientes na rotura desta barragem da Noruega, entre eles a erosão interna ao longo da descarga de fundo que foi montada numa estrutura em betão deixada no corpo do aterro.

Se somarmos a estes casos atrás mencionados, o caso da barragem de Tarbela, no Paquistão também, que, desde 1974 está em série risco devido a sucessivos acidentes nos túneis das descargas de fundo e nas suas comportas, nas respectivas bacias de dissipação e ainda na própria barragem, acidentes esses que têm motivado que a albufeira da obra não tenha sido totalmente cheia até 1976, temos que concluir que existem efectivamente muitas preocupações no mundo inteiro acerca deste assunto. Assim é que a Fundação de Engenharia dos E. U. A. («Engineering Foundation») e sociedades americanas de engenheiros promoveram em Dezembro, em Asilomar, na Califórnia, uma reunião sobre segurança de barragens.

2. SISTEMAS DE OBSERVAÇÃO DE BARRAGENS

Em face dos desastres ocorridos em 1976, é ocasião para dizer que, até hoje, nenhum sistema de auscultação das barragens que romperam deu notória indicação de perigo ou o alarme de que o acidente se ia produzir. Em geral, esses sistemas são de leitura manual e as observações são efectuadas com grande intervalo (semanas ou até meses), sendo, na maior parte das vezes, os cálculos e os diagramas de interpretação feitos manualmente. Perante esse facto, um dos pontos que tem sido muito discutido tem sido o interesse, e a necessidade até, de colocar sistemas automáticos de observação e controlo da segurança das barragens e de alarme às populações a jusante. Fizemos uma proposta, há dois anos, à nossa Comissão Nacional de Barragens, proposta que foi até ao executivo da Comissão Internacional (CIGB), para a criação de um comité técnico que estudasse e propusesse à (CIGB) normas sobre esses sistemas em face da experiência actual. Infelizmente, não vimos ainda aprovada essa proposta, mas os engenheiros de grandes barragens são unânimes em que se desenvolvam a automatização da auscultação e os sistemas de alarme dessas obras. De facto, parece que aqui estamos atrasados relativamente a outros empreendimentos de grande porte: qualquer central térmica moderna tem um sistema automático de observação e de alarme, tal como as centrais atómicas, evidentemente...

3. A BARRAGEM DE TETON

Na história da rotura de barragens, a obra mais alta que havia falhado era a de Baldwin Hills, também de terra, nos E. U. A., com 80 m de altura, isto quando a barragem mais alta, já em construção, atingirá os 320 m. Neste contexto, a rotura da barragem de Teton, de que vamos agora tratar, é um dos acidentes mais importantes da história dos desastres na Engenharia Civil e é um caso absolutamente à parte. Além de ser a barragem mais alta que até hoje caíu (103 m), a rapidez com que se processou o acontecimento foi impressionante. Desde que a rotura era evidente até que ela se produziu, não se passaram sequer três horas. O acidente pôde ser fotografado e filmado por vários assistentes. O Bureau of Reclamation pôs à nossa disposição uma série de diapositivos e, depois de realizada esta conferência, o relatório da comissão de especialistas nomeada pelo Ministério do Interior do Governo Federal Americano e pelo Governador do Estado de Idaho, que adiante referimos. O Bureau of Reclamation é a entidade americana governamental que até hoje construiu maior número de barragens. Esse organismo, fundado no fim do século passado, tinha até há bem pouco tempo os «records» americanos e mundiais da altura, tanto em barragens de betão como nas de terra. Projectou e construiu para cima de 260 barragens de terra e nunca teve anteriormente nenhum acidente com uma barragem sua. A barragem tinha um comprimento de 950 metros (fig. 1) e um volume de oito milhões de metros cúbicos de materiais. Era, pelo que foi dito, uma barragem de terra, compactada mecanicamente, conforme perfil indicado na fig. 1, com um núcleo impermeável bastante espesso em argila e silte e espaldas de materiais aluvionares permeáveis, protegidas por enrocamentos. O reservatório teria uma capacidade de trezentos e cinquenta milhões de metros cúbicos e, quando a barragem rompeu, já tinha armazenados duzentos e cinquenta milhões de metros cúbicos. A barragem em si custou dois milhões de contos. Foi construída pela firma Morrison-Knudsen em associação com a Kiewit.

As fundações da barragem são constituídas por uma rocha vulcânica (riolito ou tufo vulcânico) que, em certas zonas da margem esquerda, estava depositado sobre material aluvionar recente, o que quer dizer que o derrame vulcânico foi muito recente. Havia muitas preocupações com esse aluviões subjacentes ao tufo vulcânico, mas o facto é que a rotura se deu na outra margem, onde tal situação não ocorre. Esta situação de lavas sobre aluviões quaternárias é relativamente comum, como já tivemos ocasião de

verificar numa zona de vulcões na Costa Rica. No meio do vale havia uma zona de aluviões actuais que, em parte, foi escavada (fig. 2). O tufo vulcânico estava muito fracturado, cheio de diaclases muito abertas e portanto tinha uma permeabilidade muito alta. Só depois de ensaios de injecções de impermeabilização é que foi decidido construir a barragem. Em 1973, quando a barragem já estava em início de execução, um grupo de geólogos do Geological Survey fez a afirmação (aliás suportada por elementos do célebre e reaccionário «Sierra Club» e outros grupos de conservacionistas) que a barragem não tinha condições de segurança, porque estava numa zona altamente sísmica. Isso fez com que fosse talvez, até hoje, das obras onde foram colocados maior número de sismógrafos. Bem analisados os argumentos que então se produziram, e estão todos escritos, chega-se à conclusão que aquilo que foi dito não tem nada que ver com o que aconteceu. Mas o facto é que há alarme mundial acerca dos sismos. Creio que esse alarme relativamente à acção sísmica não tem o fundamento que a experiência ou os cálculos deveriam confirmar. Todavia o problema dos sismos não é de forma nenhuma um problema pouco importante. Direi é que pela maneira como, em matéria de esforços de investigação, as coisas estão seguindo, se estão esquecendo problemas essenciais da segurança das barragens que merecem muitos esforços de pesquiza.

Na fig. 1 apresenta-se uma planta da barragem e respectivos órgãos acessórios, que incluem um descarregador, na margem direita, uma pequena central com três grupos geradores na margem esquerda, uma tomada de água e também uma descarga de fundo que aproveitaram a galeria de desvio e ainda uma descarga de fundo auxiliar na margem direita por debaixo do descarregador. Na mesma figura apresenta-se um perfil transversal da barragem pela zona mais profunda do vale e também uma secção lateral, fazendo notar as trincheiras corta-águas, tanto a da rocha como a do aluvião (pormenores A e B).

A fig. 2 mostra a planta e o perfil longitudinal das escavações onde se apreciam essas trincheiras, tanto no aluvião na parte inferior do vale, como as laterais na rocha. Há que assinalar o perfil das trincheiras desses corta-águas escavadas nas encostas rochosas das duas margens. Essas trincheiras, com o perfil muito abrupto, têm aproximadamente 20 m de profundidade e 12 m de largura. Em baixo, e a partir do fundo das trincheiras, foram feitas três cortinas de injecção, as quais seguiram todos os métodos que é costume aplicar ao projectar e executar tais cortinas, entre eles o da injecção de furos sucessivos por um processo «try and cut»: quando os furos recebem facilmente calda de injecção, perfura-se e injecta-se a uma distância intermédia uma nova linha de furos. Temos também a este respeito um pequeno pormenor que tem o seu interesse, e que é a protecção do início dos furos centrais com uma capa contínua de betão (ver fig. 2).

As duas condutas de descargas de fundo estão representadas nesta figura. Faz-se notar que, desde há alguns anos, o critério do Bureau of Reclamation, e aliás de algumas outras entidades, é o de duplicar os órgãos de esvaziamento. Creio que este ponto ficou bem claro depois das discussões sobre acidentes em barragens por volta dos anos 62 e 63 e também depois da celeuma produzida pela primeira RANKINE LECTURE em Londres e das dificuldades por que passaram certas obras que não tinham descargas de fundo. Se Tarbela não tivesse descargas de fundo, e potentíssimas, provavelmente já lá teria havido coisas bem piores do que as que já ocorreram.

A fig. 3 mostra a obra já na fase final da construção, pouco tempo antes do acidente. Ela ficava situada no rio TETON, um dos afluentes do rio SNAKE no IDAHO, que é um estado do noroeste americano, numa região onde a água não abunda, já que fica na zona semi-desértica entre as montanhas Rochosas e as montanhas Nevadas. Nota-se à esquerda o descarregador, em canal, no extremo inferior do qual se pode ver a saída de uma pequena descarga de fundo. Também aí se vê, na parte inferior da outra margem, o edifício central e o da saída da outra descarga de fundo.

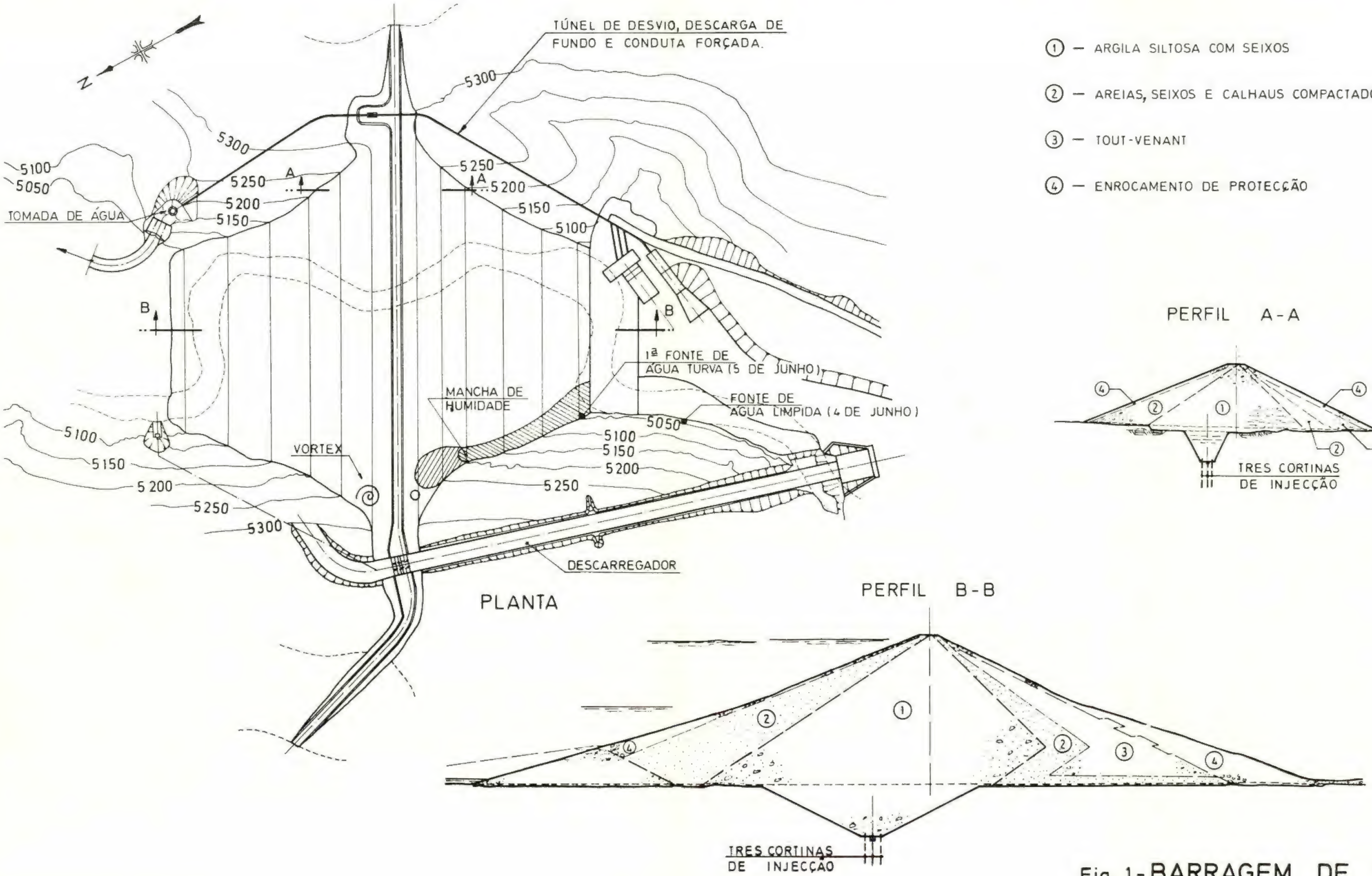
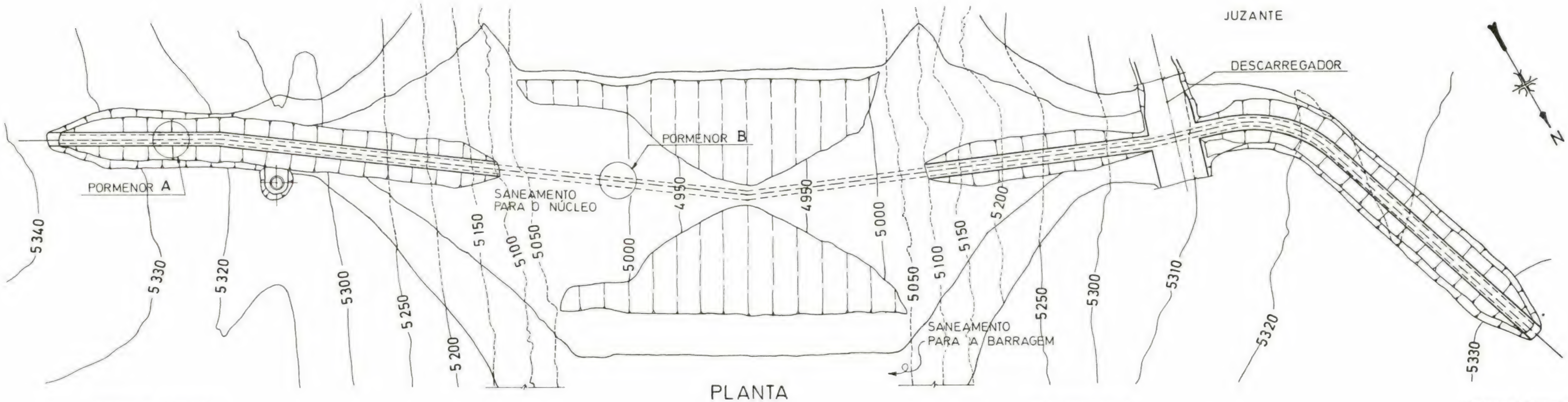
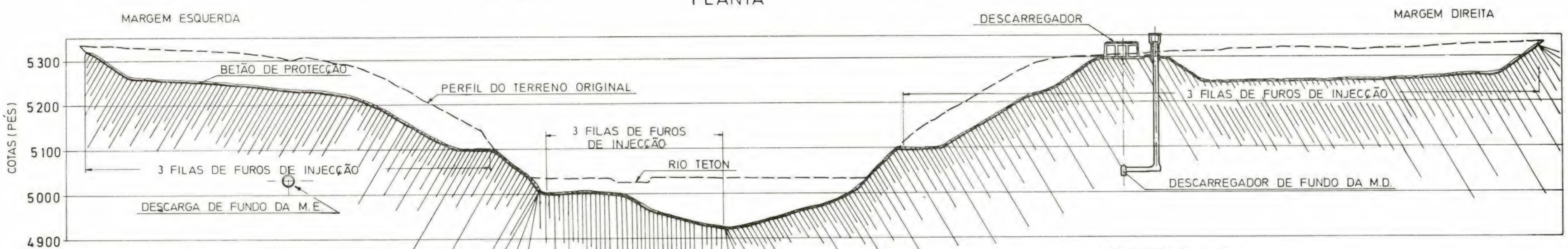


Fig. 1 - BARRAGEM DE TETON

PLANTA E PERFIS

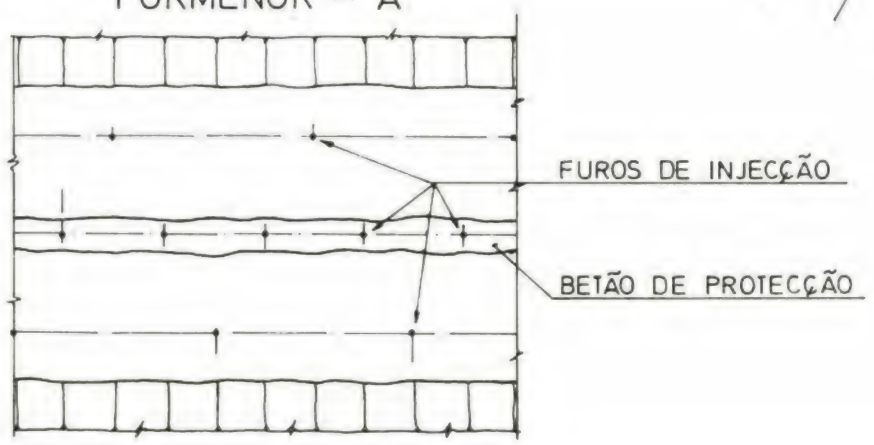


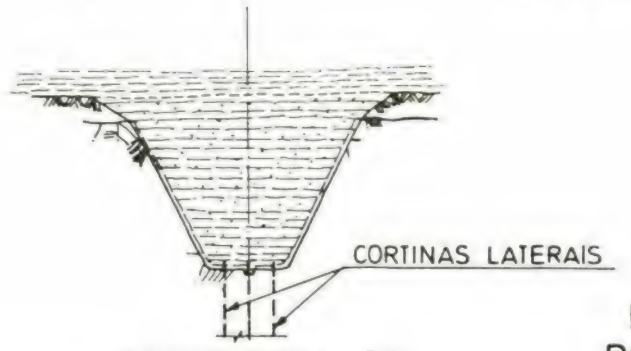
PLANTA



PERFIL LONGITUDINAL

PORMENOR — A





TRINCHEIRA DE
CORTA ÁGUAS

BETÃO DE PROTECÇÃO
DOS FUROS DE INJECÇÃO
DA CORTINA CENTRAL

PORMENOR — B

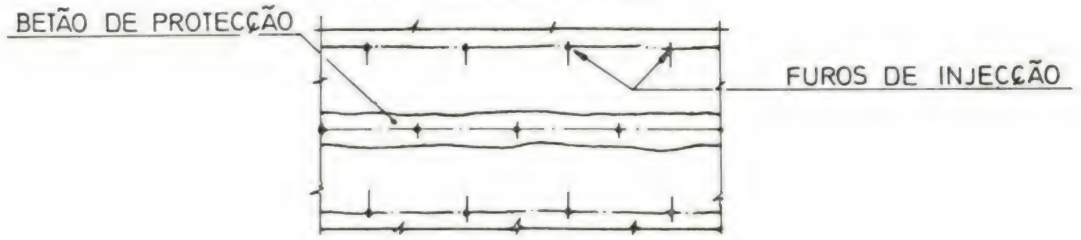


Fig. 2- BARRAGEM DE TETÓN

ESCAVAÇÕES

Fig. 3
A barragem depois de construída e antes do enchimento da albufeira

4 A ROTURA

No dia 3 de Junho, com a albufeira quase cheia, observaram-se algumas fontes a jusante da barragem, deitando água límpida, que não causaram nenhuma preocupação. No dia 4 de Junho apareceu na margem direita junto da parte inferior da barragem uma primeira ressurgência com água já turva, que, no dia seguinte, já havia aumentado apreciavelmente de caudal (fig. 1). Só por volta das 8,30 da manhã é que, efectivamente se dá o alarme porque o caudal aumenta, em menos de meia hora, de meio metro cúbico por segundo para um metro cúbico por segundo. Na fig. 4 pode-se ver a ressurgência na parte inferior da encosta direita, perto do pé da barragem. Entretanto, em cima, por volta das 9 horas, aparece uma mancha de humidade no paramento junto à margem direita e, pouco depois, começou a correr água junto à inserção da barragem com o terreno, formando-se cerca das 10,15, uma pequena cratera na zona da mancha (fig. 5). Portanto, nesta altura existiam duas fontes, uma em baixo na rocha e a outra em cima, na barragem, a qual já estava a provocar erosão do paramento por volta das 10,30 h da manhã. A esta hora, ouviu-se um estampido e formou-se, a montante, um vortex na albufeira junto da barragem, ao mesmo tempo que o caudal escoado aumentava. Em virtude da rapidez com que estavam a aumentar as infiltrações, os engenheiros do Bureau of Reclamation alertaram os xerifes da região e a força aérea, e todo o mecanismo de protecção às populações começou a funcionar. Deve-se a isso, e com certeza ao facto de ser de dia, não ter sido este um dos maiores desastres da história das barragens. Começaram a ser evacuadas milhares de pessoas e por volta das 11 h da manhã já estavam desabitadas várias povoações inteiras. Só alguns indivíduos que estavam a pescar junto do rio é que não foram avisados e foram surpreendidos pela onda de cheia. Às 10,45 horas foi decidido encher a cratera com enrocamento lançado por dois «bulldozers» que começaram a trabalhar às 11 horas. De qualquer modo, a cratera vai aumentando e às 11,30 (fig. 6) os operadores dos «bulldozers» tiveram que retirar porque eles iam escorregando para dentro do fosso. Uns

Fig. 4
Ressurgência na parte inferior da encosta (9,00 h)

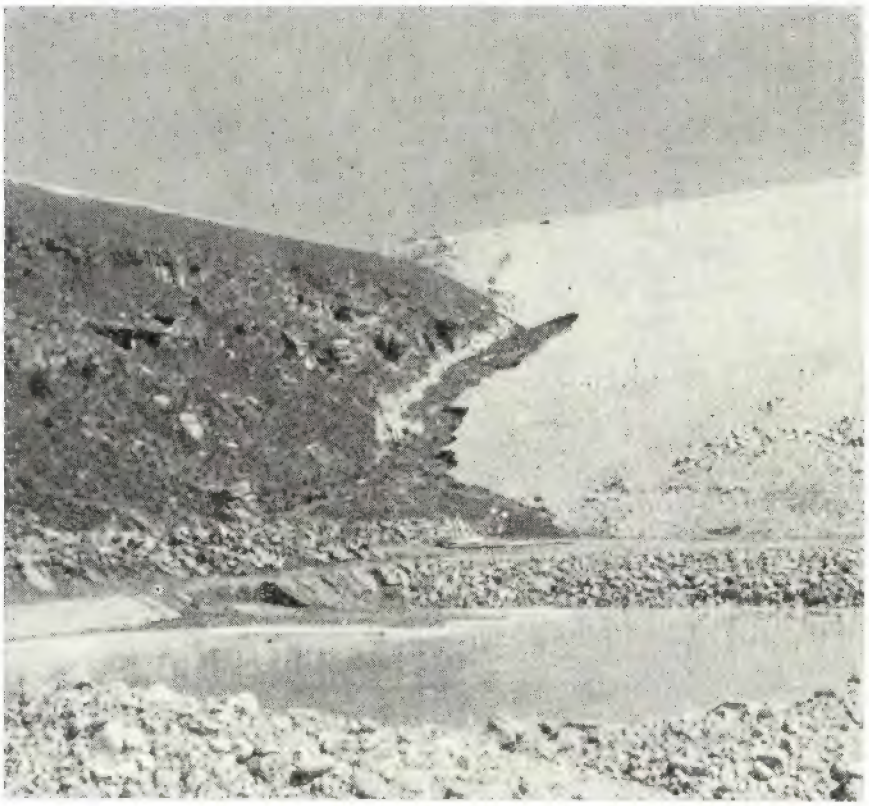


Fig. 5
Início da cratera na parte superior (10,15 h)

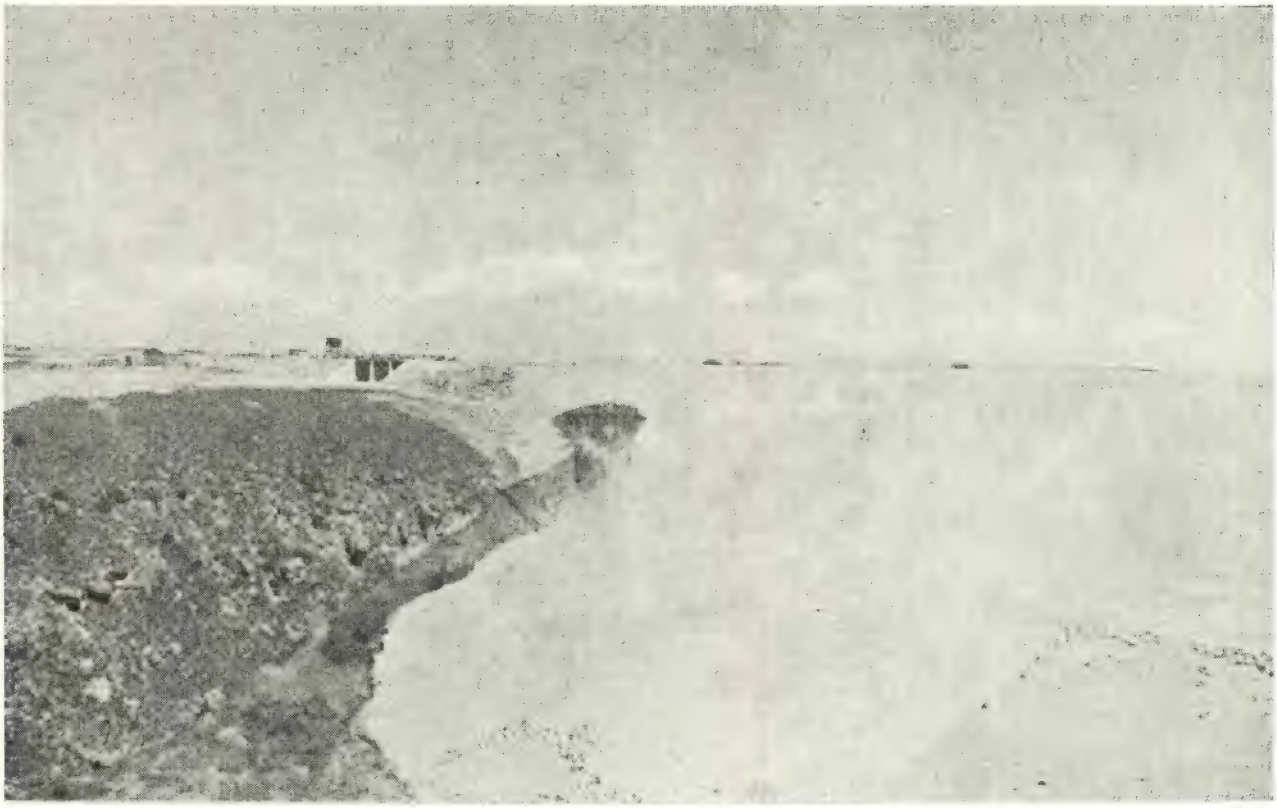


Fig. 6
Cratera quando da queda dos «bulldozers» (11,15 h)

Fig. 7
Segunda cratera na parte superior (11,20 h)

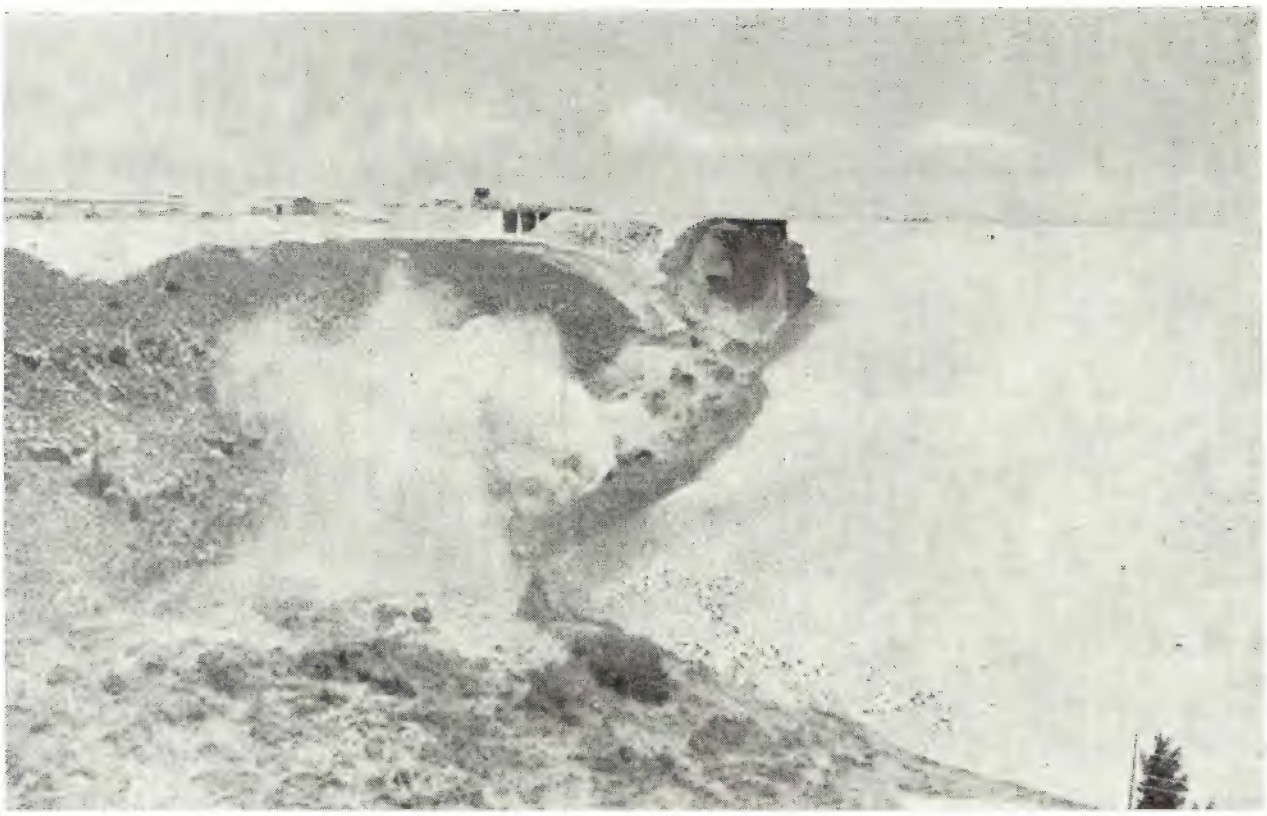


Fig. 8
Queda do coroamento (11,55 h)

Fig. 9
Colapso total da barragem (12,00 h)

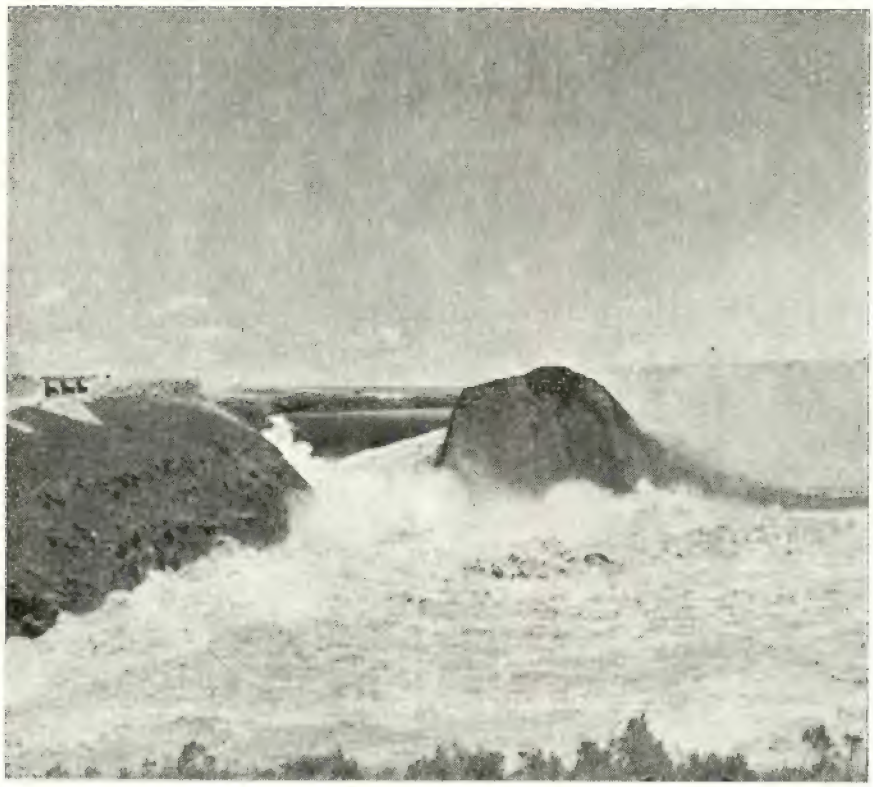


Fig. 10
Colapso total da barragem (12,00 h)

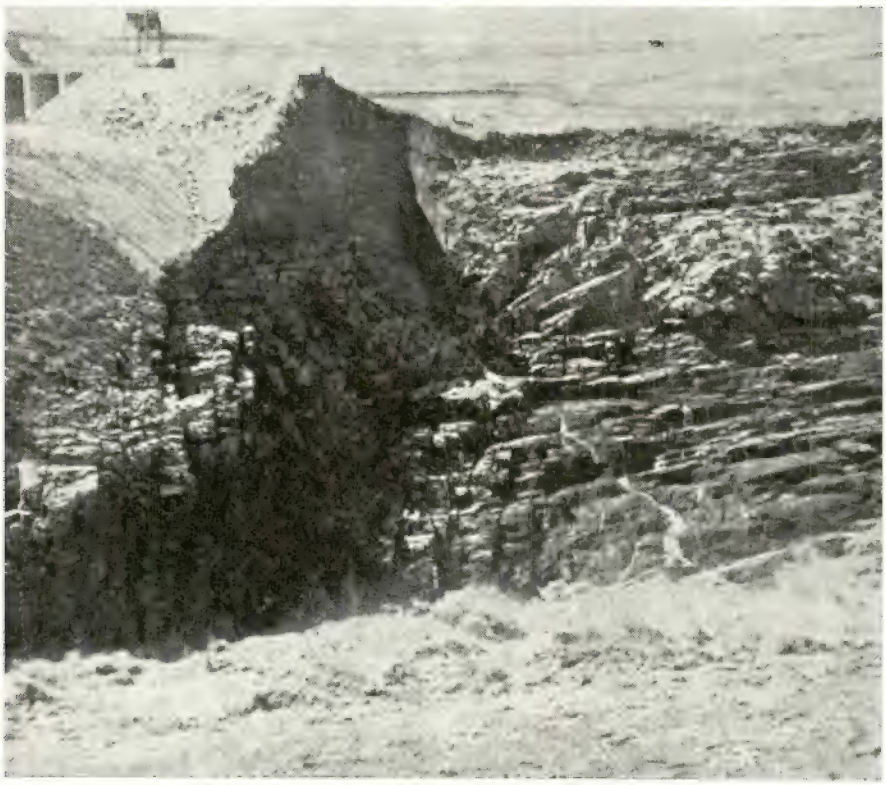


Fig. 11
Aspecto da rocha na margem direita após a rotura. Note-se a trincheira corta-águas e o aspecto diaclasado da rocha

minutos depois forma-se um segundo buraco no paramento da barragem (fig. 7), cerca das 11,55 cai o coroamento (fig. 8), produzindo-se então o colapso total (figs. 9 e 10) que arrastou aproximadamente 40% do aterro, as obras de jusante (central e câmara de controlo da descarga de fundo) deixando à vista, por uma larga extensão do rio, a rocha das encostas, onde, tal como no local da barragem (fig. 11), se pode apreciar o carácter diaclasado e aberto da massa rochosa, com predominância das fendas horizontais. O ímpeto das águas a grande velocidade, pelo rio abaixo, como aliás é corrente nas roturas de barragens, arrastou tudo, fazendo desaparecer todas as obras de juzante (central e câmara de controlo da descarga de fundo da M. E.), nada ficando do que foi posto pelo homem (foto do frontespício).

5. EFEITOS DA ROTURA

Foram inundados 40 000 ha de terras, 780 casas foram danificadas e mais de 3 000 habitações sofreram prejuízos, sendo afectadas 4 000 famílias. Se não houve muitas mortes é porque, como dissemos, toda esta gente já estava avisada havia umas horas. Quando a cheia chegou às planícies, havia pelo menos umas três horas que andavam por lá helicópteros e aviões e que os telefones, polícia e bombeiros, etc. actuavam, tudo isto numa movimentação de facto impressionante. Aconteceu com esta barragem aquilo que aconteceu até hoje em metade dos acidentes ocorridos: a albufeira enchia pela primeira vez.

O acidente saldou-se em catorze mortos, oitenta feridos e cerca de trinta milhões de contos de prejuízos. A cheia inundou numerosas estradas e instalações e afectou cinco povoações.

Logo que o acidente se deu, foram nomeadas (pelas várias entidades oficiais) três comissões de inquérito: uma de especialistas de barragens de terra e de mecânica dos solos, outra de elementos de organismos federais e outra do próprio Bureau of Reclamation. Essas comissões de inquérito consideraram já todos os dados e evidências e realizaram cálculos e outros estudos, além de ensaios no local, perfurações, trincheiras de reconhecimento, etc. A primeira comissão de inquérito terminou o seu relatório no final de Dezembro de 1976, o qual foi imediatamente submetido ao Secretário do Interior do Governo Federal (Ministro de Fomento) e ao Governador do Estado de Idaho.

6. CAUSAS

A propósito deste e de outros graves acidentes em barragens de terra, alguém já perguntou: «será que a rotura de Teton representa uma fraqueza inerente às barragens de terra?» Em nosso entender não há razão nenhuma para responder afirmativamente. No entanto, estamos certos que, por não serem evidentes as causas da rotura, muito se discutirá sobre ela, tanto mais que o Bureau of Reclamation tem dos melhores especialistas mundiais em barragens. A rotura não foi devida a nenhum tremor de terra. De facto, todos os sismógrafos postos na barragem e os das quatro estações sismográficos da zona, nenhum deles registou qualquer movimento, a não ser a rotura da própria barragem. Essa libertação de energia, sim, está bem registada nos sismógrafos de vários tipos que lá estão, tanto na obra como nas redondezas. As investigações já efectuadas e outras em curso no sítio talvez possam determinar qual foi a linha preferencial de percolação das águas, quando essa percolação das águas começou a arrastar material, isto é, a causar erosão interna — o chamado «piping». De qualquer modo, a comissão de especialistas entende que as diaclases da rocha e as fissuras pre-existentes no aterro, ou a fracturação hidráulica deste por pressões da água da albufeira vindas das diaclases da rocha, podem ter sido uma das causas que originou todo o processo de rotura. Essa erosão interna pode ter-se iniciado na interface entre o aterro e a fundação por erosão sucessiva do material impermeável do núcleo, que, dado o seu carácter siltoso, é muito erodível. O que não há dúvida nenhuma, pois as fotografias anteriores o demonstram, é que a filtração e a erosão interna começam precisamente na zona da trincheira do corta-águas da margem direita. Cálculos por elementos finitos dos estados de tensão devidos ao peso próprio mostram, sem lugar para discussão que, pelo facto de existir uma trincheira apertada e profunda em rocha rígida, se dá um efeito arco que reduz substancialmente as tensões do peso próprio da barragem no aterro que preenche a trincheira. Tal facto é bem conhecido e tem sido causa de problemas graves em barragens de terra. A fig. 12, baseada nos cálculos da comissão de inquérito, mostra que as tensões no aterro dentro duma trincheira apertada são baixas e, portanto, nesse aterro, as pressões da água da albufeira (que são elevadas) podem provocar fracturação hidráulica. Aliás as próprias concentrações de tensões nos ângulos podem produzir fissuras. Por outro lado, a água circulando nas fendas da rocha em contacto com o aterro, como este é siltoso, deve ter podido erodí-lo facilmente. Também a dificuldade em impermeabilizar, com a injecção, a zona da rocha do fundo da trincheira junto da superfície, pode ter deixado caminhos, montante-jusante, para a água. De qualquer modo, houve várias possibilidades de que a água começasse a circular através da fundação e do corta-águas com gradientes hidráulicos muito fortes que poderiam erodir e destruir o aterro e até a própria rocha.

A experiência mais recente tem mostrado que os fortes gradientes hidráulicos nos corta-águas ou nas fundações das barragens, qualquer que seja o seu tipo, a circulação da água na rocha em contacto com aterros, a erodibilidade dos núcleos das barragens de terra, a fissuração desses núcleos (que pode ser devida a várias causas, tais como concentração de tensões, assentamentos diferenciais, fracturação

hidráulica, etc.), a falta de tensões do peso próprio (por alívio lateral a que se tem chamado «efeito arco» ou por etapas de construção não apropriadas) são causas de acidentes muito graves de barragens de terra e até da sua rotura. No caso destas obras, como tragicamente o provaram em 1976 as barragens do Bolan no Paquistão e outras, a insuficiência dos descarregadores também é fatal.

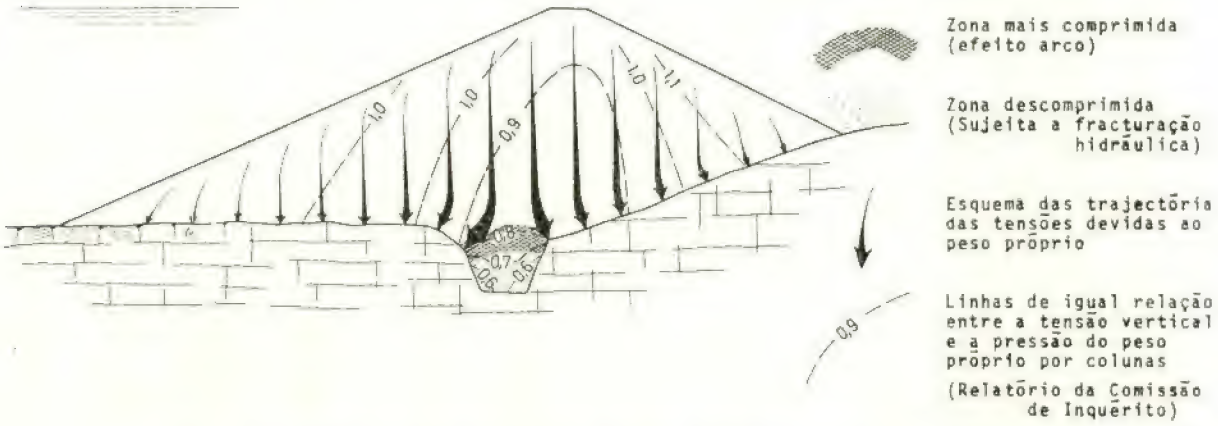


Fig. 12 - ESQUEMA DAS TENSÕES DO PESO PRÓPRIO NUMA BARRAGEM DE TERRA FUNDADA EM ROCHA DURA COM UMA TRINCHEIRA DE CORTA-ÁGUAS.

NOTA DA REDACÇÃO: a redacção da «Técnica» deseja agradecer ao Sr. Professor Laginha Serafim pela prontidão com que acedeu ao nosso convite em publicar o texto da palestra «Desastres em barragens em 1976 — o caso Teton».

Feiras, Congressos, Exposições...

CONGRESSO 77

A Ordem dos Engenheiros irá realizar, na segunda quinzena de Novembro em Lisboa, um Congresso que se destina a tratar de assuntos de carácter técnico, científico e profissional e ainda apreciar a actividade desenvolvida pela Ordem.

Pretendem os organizadores, através deste Congresso, debater os grandes problemas da vida nacional ligados à esfera de acção dos engenheiros, contribuindo assim para a resolução desses problemas, visando ao mesmo tempo a elevação do nível técnico da engenharia portuguesa e a valorização da sua imagem no conceito interno e internacional.

O Congresso será dividido em duas partes. A primeira, aberta a todos os membros efectivos da Ordem, destina-se a apreciar e votar o Relatório e Contas do Conselho Directivo Nacional. A segunda parte, aberta a pessoas interessadas e aos membros da Ordem, irá tratar de assuntos de carácter técnico, científico e profissional. Nesta parte incluir-se-ão simpósios, conferências, visitas técnicas e ainda outras manifestações de carácter técnico e social.

Os temas do Congresso 77, escolhidos após inquérito à classe, são os seguintes:

T 1 — A formação do engenheiro;

T 2 — Exigências funcionais e processos construtivos para a habitação social;

T 3 — Unidades de grande potência para a produção de energia eléctrica;

T 4 — Concepção e projecto de sistemas de telecomunicações no País;

T 5 — Combustíveis: a escassez mundial e as fontes nacionais;

T 6 — Metalurgia de metais ferrosos;

T 7 — Tecnologia de novas culturas;

T 8 — Aplicação da teoria dos sistemas em engenharia.

Os temas T 1 e T 8 serão debatidos em sessões plenárias e os restantes em sessões decorrendo simultaneamente.

As pessoas interessadas em participar na parte cultural do Congresso (Membros da Ordem, Estudantes, Outros participantes e Acompanhantes) deverão contactar com:

ORDEM DOS ENGENHEIROS — Comissão do Congresso 77
Av. António Augusto de Aguiar, n.º 3 - D — LISBOA - 1

4 X BAU FRANKFURT

De 12 a 20 de Novembro de 1977 realiza-se em Frankfurt, Rep. Federal Alemã, esta feira que incide sobre: materiais de construção, elementos de construção, sistemas de construção e acabamentos.

Para mais informações dirija-se:
AUSSTELLUNGS — GESSELLSCHAFT MAINZ GmbH & Co.
K6 — Gärtnergasse 16, Postfach 1129, 6500 MAINZ 1,
REP. FEDERAL ALEMÃ.

A tracção ELÉCTRICA é o ÚNICO meio de TRANSPORTE suave, rápido, silencioso, NÃO POLUENTE

tudo isto é igualmente válido para o TROLEICARRO

sécheron

S. A. des Ateliers de Sécheron 1211 Genève 21

Representada em Portugal por:

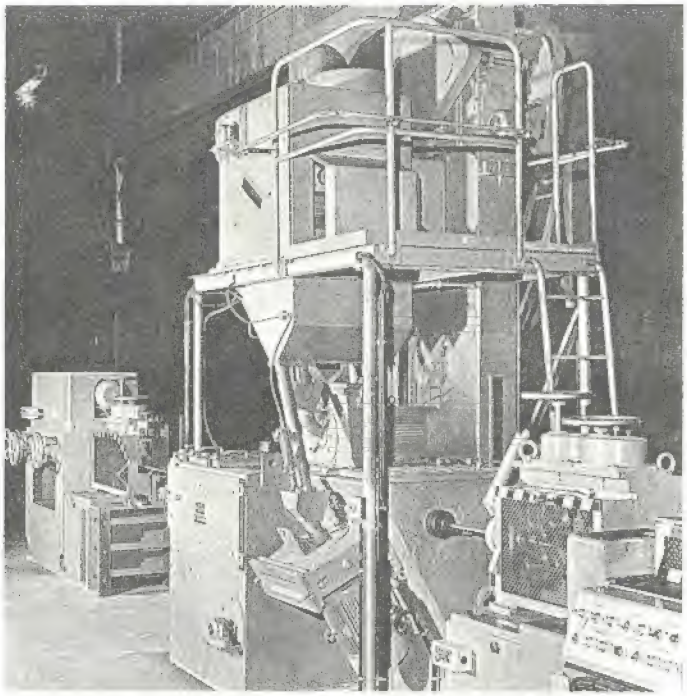
SOCIEDADE DE ELECTRICIDADE BROWN BOVERI, LDA.

Rua de Sá da Bandeira, 481-2.º — **PORTO**

Telef. 23411/21148/380019

Mais de 500 km de fio máquina e varão

são decapados por hora utilizando máquinas +GF+



Nas máquinas **+GF+**, de decapagem a jacto por turbina, são decapados fio máquina e varão de dimensões e qualidades diferentes, metàlicamente limpos, capazes de serem trefilados, por processo económico que defende o ambiente. O **+GF+** tem experiência tecnológica de longos anos neste campo especial.

Dispomos da melhor técnica de decapagem para cada campo de aplicação. Existem, também, máquinas **+GF+** para a decapagem mecânica de lingotes, biletes, chapas, arco, tubos e perfilados incluindo estruturas metálicas e muito mais ainda. Façam uma experiência.

+GF+

Georges Fischer Sociedade Anónima, Schaffhouse (Suiça)

SM 1029/5 Representante: Sociedade Comercial Romar, 83-1° Dto, LISBOA - 2 - Telefone: 603131

NÚMERO 443 OUTUBRO DE 1977 ANO LII VOLUME XXXIX

C. D. U. 621.389:537.311

Simulação numérica das estatísticas de Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein e Fermi-Dirac, baseada num gerador de números pseudoaleatórios [1] [*]

H. J. S. ABREU SANTOS
Eng.º Electrotécnico IST
Assistente do IST

RESUMO

Faz-se um estudo comparativo da obtenção por simulação numérica, no domínio das pequenas populações de partículas, das funções de distribuição correspondentes às estatísticas de Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein e Fermi-Dirac. É uma aplicação dos métodos de Monte-Carlo à simulação de um processo não determinístico, o das colisões aleatórias de uma população de partículas, utilizando um gerador de números pseudoaleatórios. Estuda-se a obtenção do equilíbrio termodinâmico para populações correspondentes a uma só estatística, do tipo da lei de radiação de Planck, e também a interacção entre partículas de estatísticas diferentes, como electrões e fonões.

Este trabalho é um prolongamento de [1].

ABSTRACT

A comparative study of the obtention of the distribution functions corresponding to the Maxwell--Boltzmann, Bose-Einstein and Fermi-Dirac statistics is done by numerical simulation on the domain of the small populations of particles. It is an application of the Monte-Carlo methods to the simulation of a non-deterministic process, that of the random colisions of a population of particles, using a pseudo--random number generator. Results are presented of the obtention of the equilibrium situation for populations of particles of the same type, such as Planck's radiation law, as well as for different particles, like electrons and phonons.

1. INTRODUÇÃO

A função de distribuição para as três estatísticas pode ser sintetizada por:

$$n(W) = N(W)\ [\exp(\alpha + \beta W_i) + A]^{-1} \qquad (1.1)$$

onde

W — energia

n(W) — densidade de partículas em energia

N(W) — densidade de estados quânticos em energia

α, β — constantes a determinar pela energia total W_0 e pelo número de elementos N_0 da população de partículas.

A — constante que para cada uma das estatísticas toma o valor:

Maxwell-Boltzmann	A = 0
Bose-Einstein	A = —1
Fermi-Dirac	A = 1

Esta diferença, aparentemente trivial, no resultado é a consequência das partículas obedecerem ou não:

1) A indiscernibilidade entre partículas
2) Ao princípio de exclusão de Pauli

O comportamento das partículas está resumido no Quadro I.

(1) Publicação do Laboratório de Medidas Eléctricas do IST integrada na Linha 1 do CEUL subsidiada pelo Instituto de Alta Cultura.

(*) Manuscrito recebido para publicação em 14/1/77.

QUADRO I

Estatística	1) Indiscernibilidade	2) Princ. Excl. Pauli
M B	Não	Não
B E	Sim	Não
F D	Sim	Sim

2. O MODELO

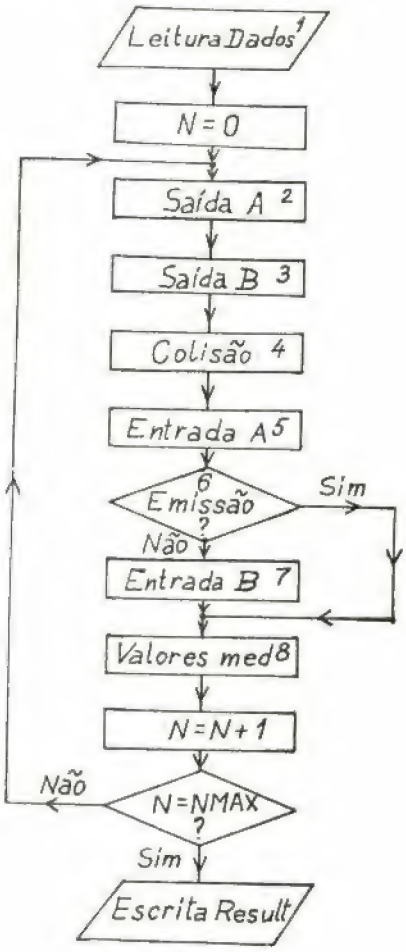


Fig. 1

Diagrama de fluxo do modelo de colisão
N — Contador de colisões
NMAX — Número de colisões pretendido
1 — Leitura de dados referentes ao preenchimento inicial dos níveis de energia
2 — Escolha do nível de energia de onde sai a partícula A
3 — Escolha do nível de energia de onde sai a partícula B
4 — Determinação da energia da colisão, soma das energias dos níveis
5 — Escolha do nível de energia de entrada mais baixa, ao qual se atribui a partícula A
6 — Determinação da energia com que fica a partícula B, diferença entre a energia da colisão e a energia da partícula A após a colisão. Se essa energia for maior do que a do nível mais alto em estudo, a partícula B foi emitida e deixou de pertencer à população em estudo.
7 — Se não houve emissão, atribuição da partícula B ao nível de energia de entrada após a colisão.
8 — Acumulação de valores para determinação do preenchimento médio e do desvio quadrático médio dos preenchimentos para todos os níveis.

Para um número finito de níveis de energia, discretos e equidistantes pretende-se obter a distribuição de equilíbrio de uma população de partículas, partindo de uma distribuição inicial qualquer, definida pelo número de partículas n_i existentes nos N_i estados quânticos do nível i de energia W_i.

O mecanismo que conduz ao equilíbrio é o que corresponde ao diagrama de fluxo da Fig. 1, que representa uma «colisão» pseudoaleatória entre dois elementos da população, com conservação da energia. Essa colisão pode ser desdobrada em três partes:

1) Atribuição pseudoaleatória dos níveis de energia donde saiem as duas partículas que vão colidir.
2) Colisão.
3) Atribuição pseudoaleatória das partículas aos níveis de energia onde entram, com conservação da energia da colisão, mas eventualmente distribuída doutra forma pelas partículas.

As diferenças mencionadas em 1. entre o comportamento das partículas pertencentes a estatísticas diferentes, traduzem-se no nosso modelo por diferenças na atribuição dos níveis de saída e de entrada.

Todas as configurações microscópicas discerníveis que o sistema pode assumir com o número de partículas N_0 e a energia W_0 de que dispõe são equiprováveis. Sempre que se modifica o sistema por entrada ou saída de partículas dos ou nos níveis de energia, esta modificação tem que respeitar a equiprobabilidade das configurações discerníveis. Os estados quânticos num mesmo nível de energia são também equiprováveis.

2.1 ESTATÍSTICA DE MAXWELL-BOLTZMANN

Os blocos referidos em 2.1 são os da Fig. 1

Bloco 1

Terão que estar definidos no início para cada um dos níveis i (i=1...m) de energia W_i, os N_i e n_i.

Blocos 2 e 3

Sendo as partículas discerníveis, ao retirar uma partícula ao sistema posso obter tantas configurações diferentes quantas as partículas do sistema. A escolha da partícula que sai é feita de um modo pseudoaleatório de entre todas as partículas. Assim *cada nível de energia tem na saída de uma partícula um peso que é igual ao número de partículas existentes nesse nível.*

Ficam definidos neste bloco as energias dos níveis de saída W_{SA} e W_{SB}.

Bloco 4

É calculada a energia da colisão $W_{COL} = W_{SA} + W_{SB}$ que deverá ser a mesma após a colisão, mas eventualmente distribuída doutra maneira.

Blocos 5 e 7

Uma vez que as partículas não estão submetidas ao princípio de exclusão de Pauli, poderão ocupar qualquer estado quântico quer já esteja ocupado quer não; todas as combinações de pares de níveis que respeitem a energia da colisão são possíveis. A escolha dos níveis de entrada é feita de forma pseudoaleatória de entre todas as combinações de estados quânticos possíveis. Sendo os estados quânticos dum mesmo nível de energia equiprováveis, *o peso de cada combinação de níveis de energia é o do produto dos estados quânticos do par de níveis que lhe respeita.*

Bloco 6

Sendo possível que a energia de colisão seja o dobro da energia do nível mais alto em estudo, pode a combinação de níveis de entrada escolhida pseudoaleatoriamente corresponder a uma das partículas entrar num nível superior ao nível mais alto em estudo. Haverá emissão de uma partícula com o correspondente decréscimo de N_o e W_o.

Bloco 8

Acumulação de dados para cálculo do valor médio dos preenchimentos e do desvio quadrático médio.

Os blocos 2, 3, 5 e 7 envolvem escolhas pseudoaleatórias de um elemento de uma população dada. Para isso recorrem a um gerador de números pseudoaleatórios [2] cuja utilização é fundamental em toda a simulação do processo de «colisão». No nosso caso, é de lei de repartição uniforme.

2.2 ESTATÍSTICA DE BOSE-EINSTEIN

Os blocos referidos em 2.2 são os da Fig. 1

Bloco 1

Terão que estar definidos para cada um dos níveis i (i=1...m) de energia W_i, os n_i, N_i e as ocupações dos próprios estados quânticos dentro de cada nível de energia.

Ao contrário do que acontece com as outras estatísticas somos obrigados a manter o registo não só do número de partículas em cada nível de energia mas também do número de partículas em cada estado quântico.

Blocos 2 e 3

Sendo as partículas indiscerníveis e podendo haver mais de uma partícula em cada estado quântico, ao retirar uma partícula obteremos configurações diferentes desde que retiremos a partícula de estados quânticos diferentes. A escolha da partícula que sai é feita de modo pseudoaleatório de entre todos os estados quânticos que têm uma partícula ou mais. *O peso de cada um dos níveis de energia é* portanto *proporcional ao número de estados quânticos nesse nível com uma ou mais partículas.*

Blocos 5 e 7

As partículas não estão submetidas ao princípio de exclusão de Pauli, pelo que podem ocupar qualquer estado quântico, quer já esteja ocupado quer não. Todas as combinações de pares de níveis que respeitam a energia da colisão são possíveis, sendo *o peso de cada combinação o do produto dos estados quânticos do par de níveis que lhe diz respeito,* tal como nos blocos 5 e 7 de 2.1.

Temos no entanto que fazer a atribuição das partículas na entrada não a níveis de energia mas a estados quânticos dentro desses níveis, tendo que se manter o registo, utilizado nos blocos 2 e 3, do preenchimento desses estados quânticos.

Blocos 4, 6 e 8

Idênticos aos correspondentes em 2.1.

2.3 ESTATÍSTICA DE FERMI-DIRAC

Os blocos referidos em 2.3 são os da Fig. 1

Bloco 1

Terão que estar definidos para todos os níveis i (i=1...m) de energia W_i, os n_i, N_i e os estados quânticos vagos $N_i - n_i$.

Blocos 2 e 3

Sendo as partículas indiscerníveis mas não podendo estar mais de uma em cada estado quântico, ao retirar uma partícula obtemos configurações diferentes retirando partículas de estados quânticos diferentes. A saída é escolhida pseudoaleatoriamente de entre todos os estados quânticos ocupados, necessariamente com uma única partícula cada. *O peso de cada nível de energia será portanto proporcional ao número de partículas existentes nesse nível.* Embora por razões diferentes chegamos no entanto ao mesmo resultado que na estatística de Maxwell-Boltzmann.

Blocos 5 e 7

Todas as combinações de níveis cujas energias somem W_{COL} satisfazem. Devido ao princípio de exclusão de Pauli, as entradas só se podem efectuar em estados quânticos vagos. A escolha das entradas é feita de forma pseudoaleatória de entre todas as combinações de estados quânticos vagos possíveis. *O peso de cada combinação de pares de níveis de energia é proporcional ao produto dos estados quânticos vagos do par de níveis em causa.*

Blocos 4, 6 8

São idênticos aos correspondentes em 2.1.

Os procedimentos anteriores estão resumidos no Quadro II.

No Apêndice I está demonstrado que a maneira de proceder descrita em 2.1, 2.2 e 2.3 tem como dis-

tribuições de equilíbrio, respectivamente, as distribuições de Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein e Fermi-Dirac.

QUADRO II

Estatística	Saída proporcional a	Entrada proporcional a
M B	N.º de partículas	N.º de estados quânticos
B E	N.º de estados quânticos ocupados	N.º de estados quânticos
F D	N.º de partículas	N.º de estados quânticos vagos

3. RESULTADOS

3.1 GASES ISOLADOS

3.1.1 ESTATÍSTICA DE MAXWELL-BOLTZMANN

Consideraram-se 20 níveis de energia e uma densidade de estados $N_i = 20$, igual para todos os níveis. A população era de $N_0 = 215$ partículas que se distribuiam 100 no nível 1, 100 no nível 4, 14 no nível 5 e 1 no nível 6, correspondendo-lhes a energia total $W_0 = 576$, tomando para unidade de energia a energia que separa dois níveis consecutivos. Ao fim de 20 000 colisões não tinha havido emissões.

Na Fig. 2 apresenta-se a situação inicial e na Fig. 3 e no Quadro III apresentam-se os resultados da média das 10 000 últimas colisões de 20 000 comparados com os valores previstos para $N_0 = 215$ e $W_0 = 576$, com um erro menor que .005, por 1.1, $A = 0$, válida no domínio dos grandes números, tendo α e β sido determinados por 3.1 e 3.2.

$$N_0 = \sum^{i} N_i \left[\exp(\alpha - \beta W_i) \right]^{-1} \qquad (3.1)$$

$$W_0 = \sum^{i} N_i W_i \left[\exp(\alpha + \beta W_i) \right]^{-1} \qquad (3.2)$$

Os tempos de CPU do programa foram aproximadamente de 1 minuto para 20 000 colisões (1).

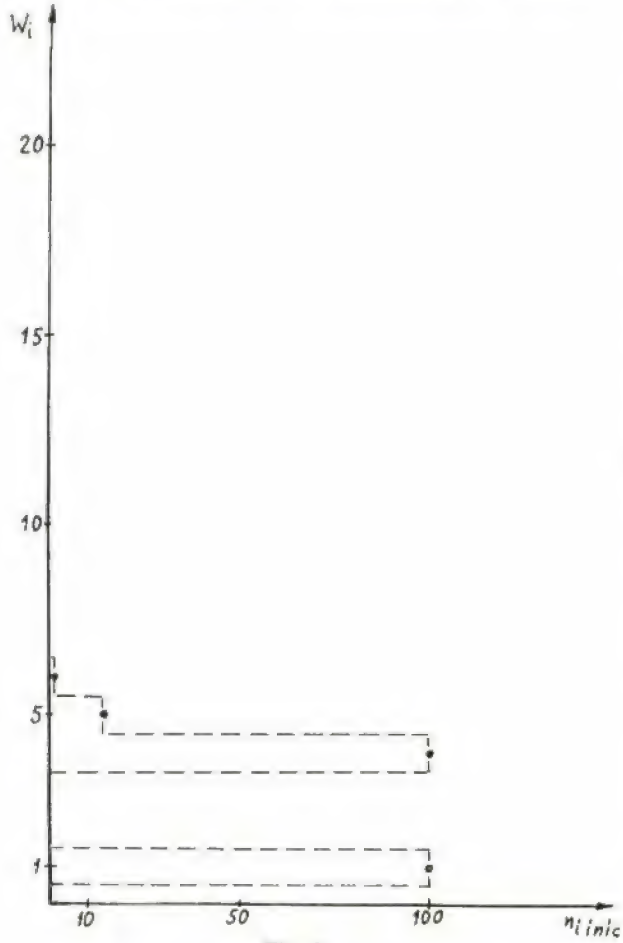


Fig. 2
Maxwell-Boltzmann; distribuição inicial

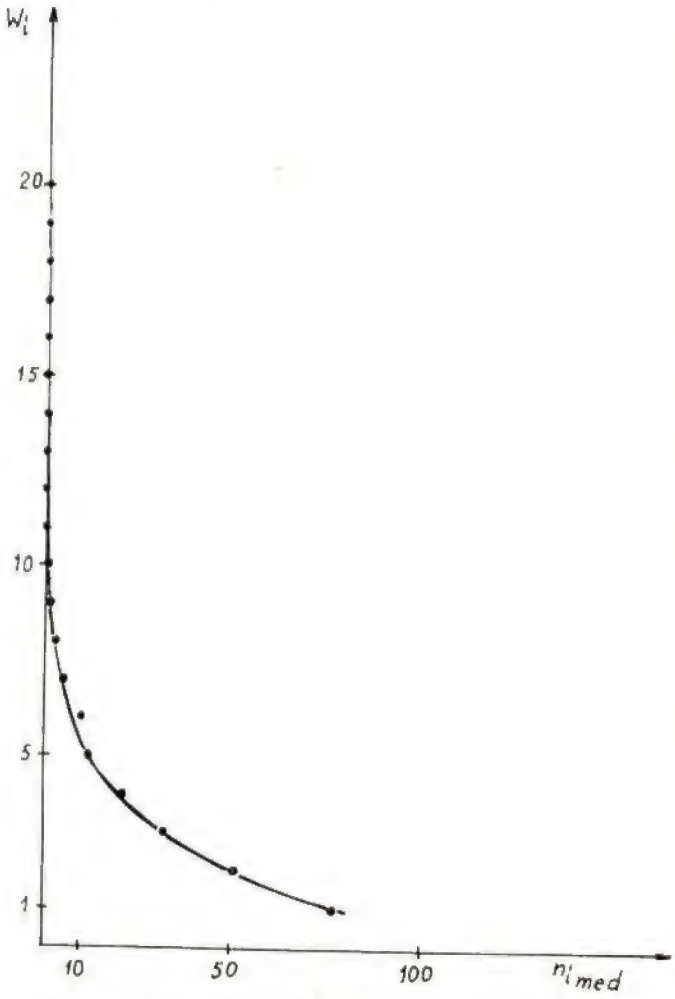


Fig. 3
Maxwell-Boltzmann; distribuição final
—— Prevista
● 20 000 colisões; média de 10 000

(1) O computador utilizado para todos os resultados apresentados foi o do Centro de Cálculo das Universidades de Lisboa, IBM/360. — 44.

QUADRO III

Nível	Previsto	10 000 col.
1	80.21	77.31
2	50.29	51.46
3	31.53	32.29
4	19.77	20.76
5	12.39	12.05
6	7.77	9.58
7	4.87	4.59
8	3.05	3.02
9	1.92	1.85
10	1.20	.77
11	.75	.33
12	.47	.11
13	.30	.35
14	.19	.19
15	.12	.18
16	.07	.09
17	.05	.06
18	.03	.00
19	.02	.00
20	.01	.00

3.1.2 ESTATÍSTICA DE BOSE-EINSTEIN

Consideraram-se 100 níveis de energia, e uma função densidade de estados em energia, N_i, correspondente à parábola $N_i = 12(W_i - .5)^2$ de eixo de simetria nos N_i.

erro apreciável. São muito pouco prováveis as situações com mais de uma partícula num mesmo estado quântico.

Dum ponto de vista estatístico é irrelevante o que são os n_i, N_i e W_i.

Se n_i for o número de osciladores (corpuscularmente, fotões) para a frequência própria f_i correspondente à energia $W_i = hf_i$, a distribuição em equilíbrio dos n_i pelos W_i conduz, numa representação de $n_i W_i$ em função dos $\lambda_i = hc/W_i$ a uma distribuição da densidade de energia do tipo da Lei de Radiação de Planck.

Difere desta por termos forçado um número de partículas N_o constante, o que não é verdade para fotões. Assim, (1.1) para fotões teria $\alpha = 0$.

No modelo utilizado atingiu-se o equilíbrio por trocas de energia entre partículas. Para fotões, dada a linearidade das equações de Maxwell, estes não interactuam, só sendo possível atingir-se o equilíbrio na presença de matéria [3].

A população foi de $N_o = 156$ partículas, não tendo havido emissões, e a energia $W_o = 751$. A situação inicial, em termos dos preenchimentos dos diversos níveis de energia, e o número de estados quânticos por nível de energia foram as do Quadro IV. Acima do nível 8 não havia partículas, e tirando o nível 1, as partículas ocupavam todas estados quânticos diferentes. O comportamento inicial será portanto um comportamento à Maxwell-Boltzmann.

QUADRO IV

		$W_o = 751$		$W_o = 915$	
Nível	Estados	Electrões	Estados ocupados	Electrões	Estados ocupados
1	3	37	3	4	3
2	27	1	1	17	17
3	75	1	1	21	21
4	147	20	20	22	22
5	243	25	25	20	20
6	363	24	24	17	17
7	507	24	24	14	14
8	675	24	24	11	11
9	867	0	0	8	8
10	1083	0	0	6	6
11	1323	0	0	3	3
12	1587	0	0	0	0
13	1875	0	0	9	9
14	2187	0	0	4	4

Para que o programa fosse praticável em tempo de CPU, os níveis 11 a 100 foram considerados como se se tratasse de níveis de Maxwell-Boltzmann. Como as duas estatísticas coincidem quando em cada estado quântico existe só uma partícula e no exemplo escolhido, no nível mais desfavorável, nível 11, são previstas em equilíbrio menos de 5 partículas em 1323 estados quânticos equiprováveis, não haverá por isso

Os valores médios das 10 000 últimas colisões de 25 000 estão comparados no Quadro V e na Fig. 4 com os valores previstos por 1.1, $A = -1$, com α e β calculados por 3.3 e 3.4 com um erro menor que .005.

$$N_o = \sum^{I} N_i \left[\exp(\alpha + \beta W_i) - 1 \right]^{-1} \qquad (3.3)$$

$$W_o = \sum^{I} N_i W_i \left[\exp(\alpha + \beta W_i) - 1 \right]^{-1} \qquad (3.4)$$

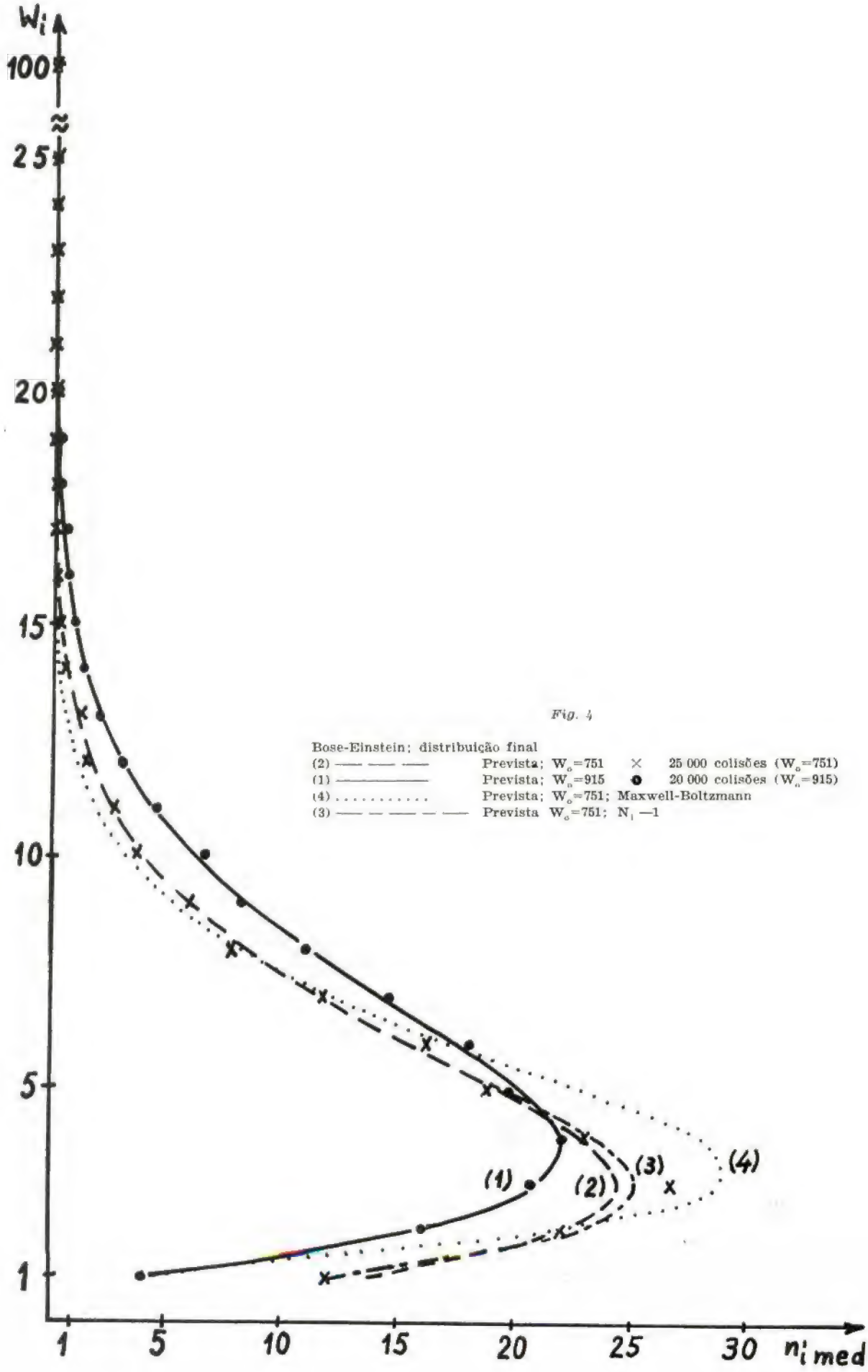


Fig. 4

Bose-Einstein: distribuição final

(2) —— —— —— Prevista; W_o=751 × 25 000 colisões (W_o=751)

(1) ———— Prevista; W_o=915 ● 20 000 colisões (W_o=915)

(4) . . . . . Prevista; W_o=751; Maxwell-Boltzmann

(3) —— — —— — —— Prevista W_o=751; N_i —1

QUADRO V

Nivel	Previsto	25 000 col. (med. 10 000)	Previsto	20 000 col. (méd. 15 000)
1	13.88	11.89	4.85	4.09
2	22.17	22.12	15.67	16.12
3	24.63	26.94	20.95	20.83
4	23.05	23.16	21.93	22.10
5	19.51	18.86	20.32	19.84
6	15.42	16.33	17.45	18.12
7	11.59	11.75	14.22	14.55
8	8.37	7.84	11.13	10.99
9	5.86	6.00	8.44	8.21
10	4.00	3.82	6.24	6.68
11	2.68	2.77	4.52	4.65
12	1.76	1.64	3.22	3.11
13	1.14	1.26	2.26	2.13
14	.73	.58	1.57	1.44
15	.46	.42	1.07	1.02
16	.29	.33	.73	.69
17	.18	.10	.49	.57
18	.11	.08	.33	.25
19	.07	.05	.22	.26
20	.04	.05	.14	.15
21	.03	.00	.09	.12
22	.02	.02	.06	.04
23	.01	.00	.04	.01
24	.01	.00	.03	.01
25	.00	.00	.02	.01
26	.00	.00	.01	.01
27	.00	.00	.01	.01
28	.00	.00	.00	.00
29	.00	.00	.00	.00
30	.00	.00	.00	.00

Encontra-se na mesma figura a distribuição de equilíbrio prevista, $N_o = 156$ e $W_o = 751$, se o comportamento das partículas fosse de Maxwell-Boltzmann.

Numa segunda situação, com o mesmo número de partículas mas $W_o = 915$, a situação inicial foi a do Quadro IV, com as partículas em estados quânticos diferentes excepto no nível 1, e sem partículas acima do nível 14.

Os valores médios das 15 000 últimas colisões de 20 000 encontram-se no Quadro V e na Fig. 4 comparados com os previstos por 1.1 ($A = -1$) 3.3 e 3.4 com um erro menor que .005.

Os tempos de CPU foram aproximadamente de 8 minutos para 20 000 colisões.

Os valores obtidos para pequenas populações estão próximos dos previstos por expressões aplicáveis para grandes populações. Não é no entanto seguro que estas expressões sejam válidas no domínio dos pequenos números. Em relação ao mecanismo usado nas colisões, a demonstração feita no Apêndice I de que tem como distribuição de equilíbrio a de Bose-Einstein, pressupõe também que $N_i + n_i - 1 \simeq N_i + n_i$ para determinação da probabilidade de saída. É portanto possível que o mecanismo de simulação usado conduza para pequenas populações a uma distribuição diferente. Na impossibilidade de trabalhar com n_i maior nos baixos níveis, porque dado o seu crescimento parabólico tomaria nos níveis mais altos valores que obrigariam no programa a uma ocupação de memória demasiado grande, fizeram-se ensaios a N_i constante igual para todos os níveis mas com um valor superior ao usado no exemplo anterior para os níveis mais baixos, tendo-se verificado um melhor acordo entre valores encontrados e previstos para grandes populações. Por outro lado tentou-se uma correcção dos valores previstos trabalhando por simulação com N_i, mas fazendo a previsão para a mesma população e energia mas como se cada nível tivesse $N_i - 1$ estados. (Fig. 5 curva (2)). Esta correcção nunca poderia ser inteiramente correcta porque as saídas são realmente previstas para $N_i - 1$, mas as entradas são também previstas para $N_i - 1$ e não para N_i. A correcção mostra-se no sentido correcto, embora insuficiente.

Repare-se que todas as colisões em que as saídas correspondam aos pares de níveis 1;1 ou 2;1 têm como níveis de entrada os de saída para que haja conservação da energia, permanecendo o sistema com preenchimentos dos níveis de energia iguais aos anteriores à colisão. Num caso extremo em que só houvesse partículas nos níveis 1 e 2 o sistema permaneceria sempre com a distribuição inicial, que a não ser a de equilíbrio, nunca permitiria que este se verificasse. Este aspecto comum a todas as estatísticas, é tanto mais relevante quanto, dado o pequeno número de níveis, as probabilidades de intervenção dos níveis em colisão variam muito de nível para nível. Se forem maiores nos níveis mais baixos, grande parte das colisões mantêm o sistema invariante.

3.1.3 ESTATÍSTICA DE FERMI-DIRAC [1]

Consideraram-se 20 níveis de energia e 20 estados quânticos por nível. A situação inicial (Fig. 5) correspondia a todos os estados quânticos ocupados até ao nível 9 inclusivé, 10 estados ocupados nos níveis 10 a 16, e 5 estados no nível 17 ($N_o = 255$; $W_o = 1895$). Na Fig. 6 e Quadro VI apresentam-se os valores da média das 10 000 colisões entre as 10 000 e 50 000, em que a população se mostrava estável após sucessivas emissões, 243 electrões com uma energia de 1625, comparados com os resultados previstos por 1.1, $A = 1$, com α e β calculados por 3.5 e 3.6 com um erro menor que .005. O W_o e o N_o utilizados foram os da situação final.

$$N_o = \sum^{i} N_i \left[\exp\left(\alpha + \beta W_i \right) + 1 \right]^{-1} \qquad (3.5)$$

$$W_o = \sum^{i} N_i W_i \left[\exp\left(\alpha + \beta W_i \right) + 1 \right]^{-1} \qquad (3.6)$$

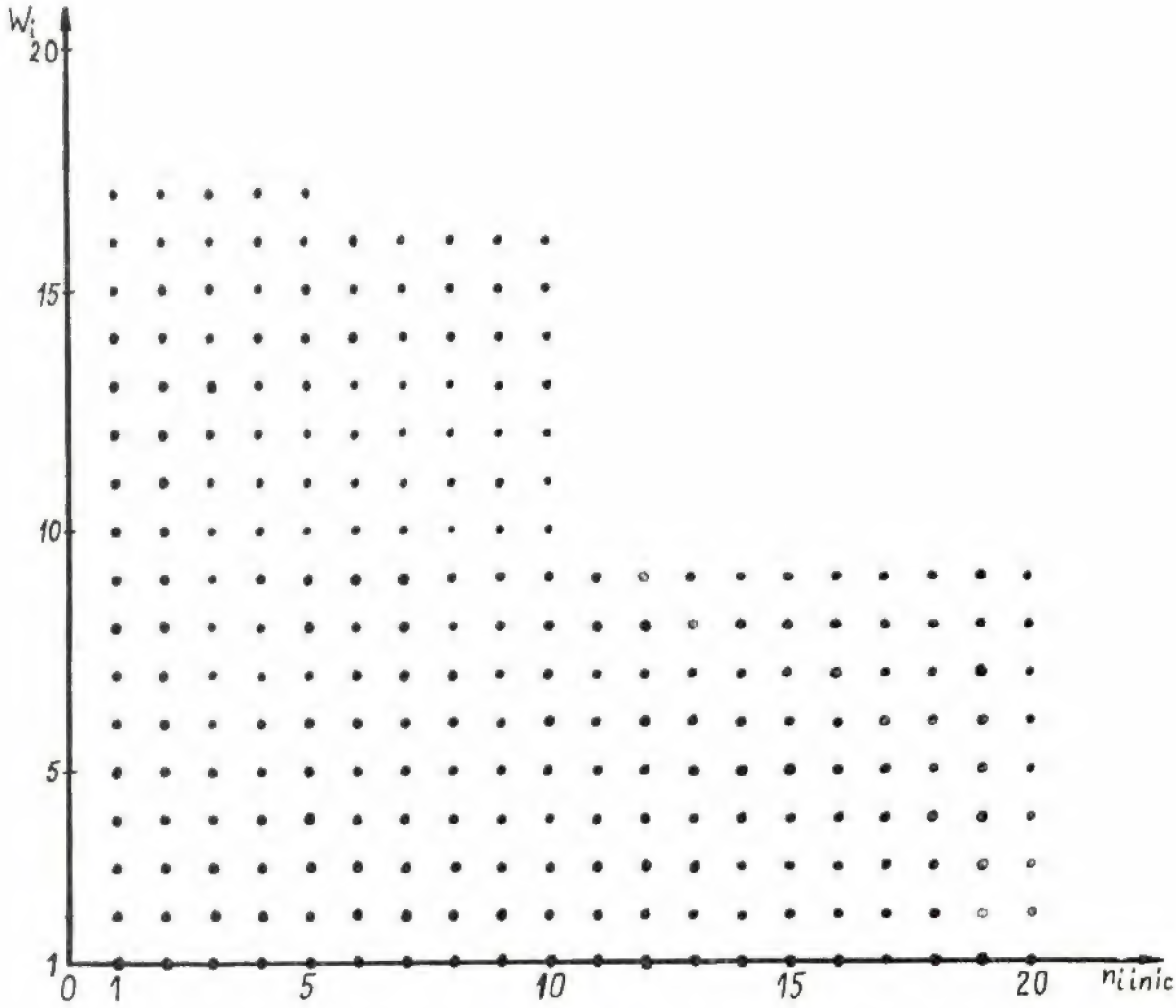


Fig. 5
Fermi-Dirac; distribuição inicial

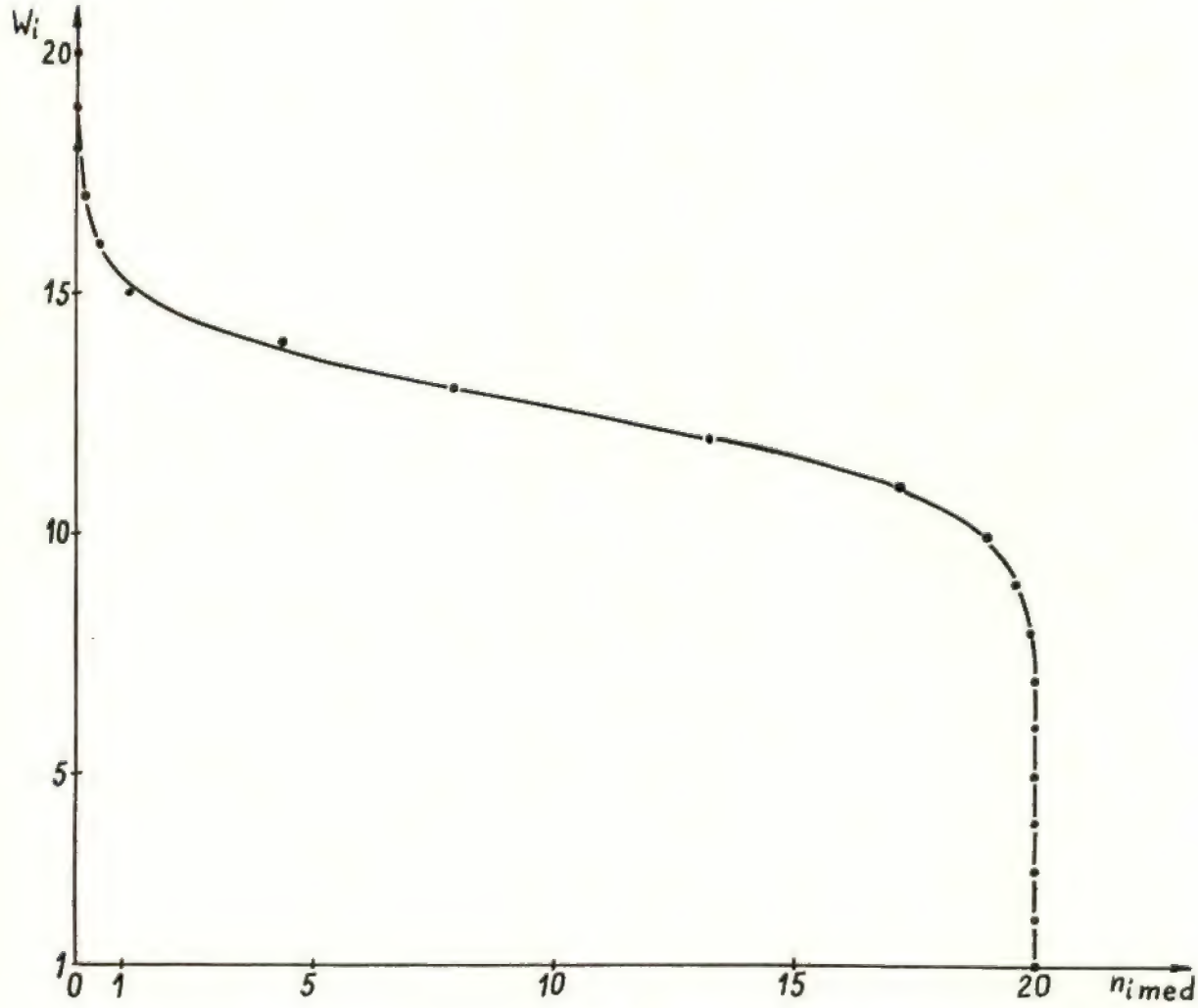


Fig. 6

Fermi-Dirac; distribuição final

——— Prevista

● 50 000 colisões

QUADRO VI

Nível	Previsto	50 000 col.
1	20.00	20.00
2	20.00	20.00
3	20.00	20.00
4	20.00	20.00
5	20.00	20.00
6	19.99	19.99
7	19.96	19.98
8	19.89	19.87
9	19.65	19.64
10	19.00	18.98
11	17.24	17.19
12	13.46	13.22
13	8.07	7.89
14	3.64	4.33
15	1.36	1.05
16	.47	.49
17	.16	.17
18	.05	.00
19	.02	.00
20	.01	.03

3.2 INTERACÇÃO DE PARTÍCULAS OBEDECENDO A ESTATÍSTICAS DIFERENTES: «BANHO» DE BOSE-EINSTEIN E GÁS DE FERMI-DIRAC

O modelo utilizado foi descrito em pormenor em [4]. Basicamente corresponde a colisões entre pares de partículas, uma do gás e outra do «banho» à temperatura T, suposto com uma capacidade calorífica infinita. Completada a colisão, a energia do par de partículas após a colisão é a mesma que antes mas eventualmente repartida doutra maneira. Feito o regresso das partículas, uma ao gás e outra ao banho, este repõe a partícula que o abandonou na situação energética que tinha anteriormente. Sendo assim, a distribuição do banho mantém-se invariante com preenchimentos iguais aos valores médios correspondentes ao equilíbrio à temperatura T. O equilíbrio é atingido quando o gás estiver à temperatura do banho.

Seja o gás A de Fermi-Dirac, e o gás B, banho, de Bose-Einstein. Cada colisão envolve uma partícula do gás A e uma partícula do gás B. Na saída do gás A, o peso de cada nível é o do número de partículas nesse nível. Na saída do gás B, o peso de cada nível será o do número de estados quânticos com uma ou mais partículas. É portanto necessário conhecer à priori, em equilíbrio à temperatura T, qual a probabilidade de para cada nível encontrar, nos N_i estados quânticos, estados com uma ou mais partículas. Pode ser calculada (ver Apêndice II) pela expressão $n_i N_i/(n_i + N_i - 1)$. Basta conhecer os N_i e os n_i de equilíbrio à temperatura T pretendida para o banho.

O exemplo apresentado corresponde a uma situação bidimensional em que as densidades de estado em energia, dada a quantificação no espaço dos momentos e as relações entre energia e momento no caso de electrões ($W = p^2/2m$ com p — momento linear; m — massa eficaz) e no caso de fonões ($W = up$ com u-velocidade do som), são respectivamente N_{iA} constante e N_{iB} crescendo linearmente com a energia.

Consideraram-se 100 níveis de energia, $N_{iA} = 20$ e $N_{iB} = 10\ W_i$ sendo W_i expresso em intervalos de energia entre níveis consecutivos. Os elementos da população de Fermi-Dirac eram $N_0 = 204$ e encontravam-se inicialmente na situação da Fig. 7. A população de Bose-Einstein estava em equilíbrio à temperatura T, tal que a energia característica dessa temperatura, kT, era de 5 intervalos de energia.

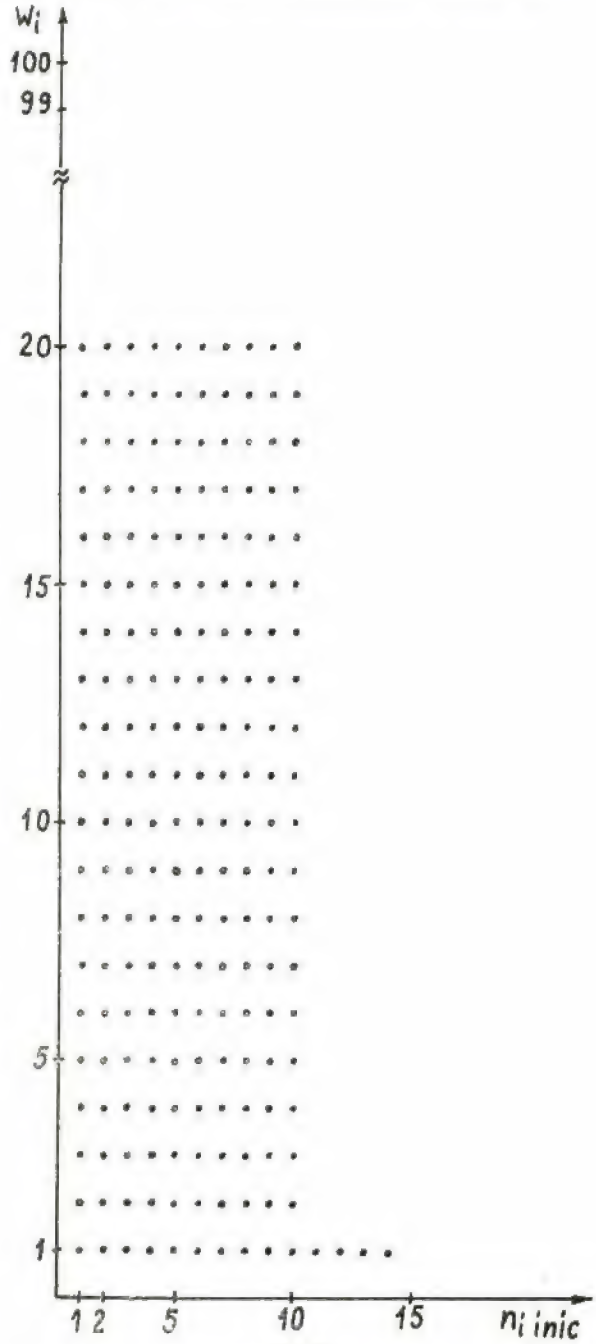


Fig. 7
Gás de Fermi-Dirac em contacto com «banho» de Bose-Einstein. Distribuição inicial

Na Fig. 8 e no Quadro VII apresentam-se os resultados das médias das 10 000 últimas colisões de 50 000 e das 30 000 últimas de 70 000 comparados com os valores previstos por 1.1, A = 1, com $\beta = 1/kT$ calculado a partir da temperatura T do banho e α a partir de

$$N_0 = \sum N_i \left[\exp\left(\alpha + \beta W_i\right) + 1 \right]^{-1} \qquad (3.7)$$

com um erro menor que .005. Na Fig. 8 A apresenta-se a distribuição em energia para as partículas do «banho».

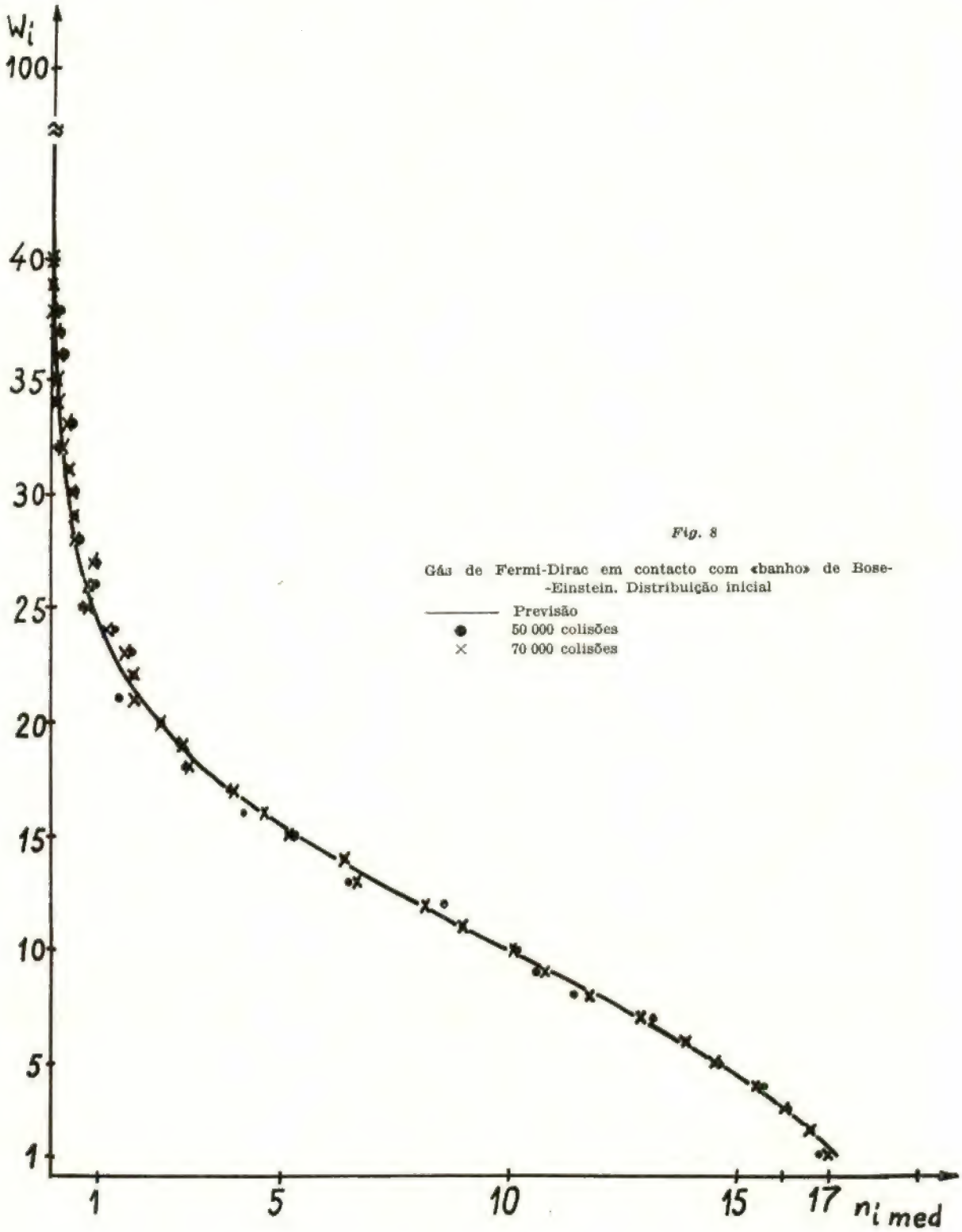


Fig. 8

Gás de Fermi-Dirac em contacto com «banho» de Bose-Einstein. Distribuição inicial

——— Previsão
● 50 000 colisões
× 70 000 colisões

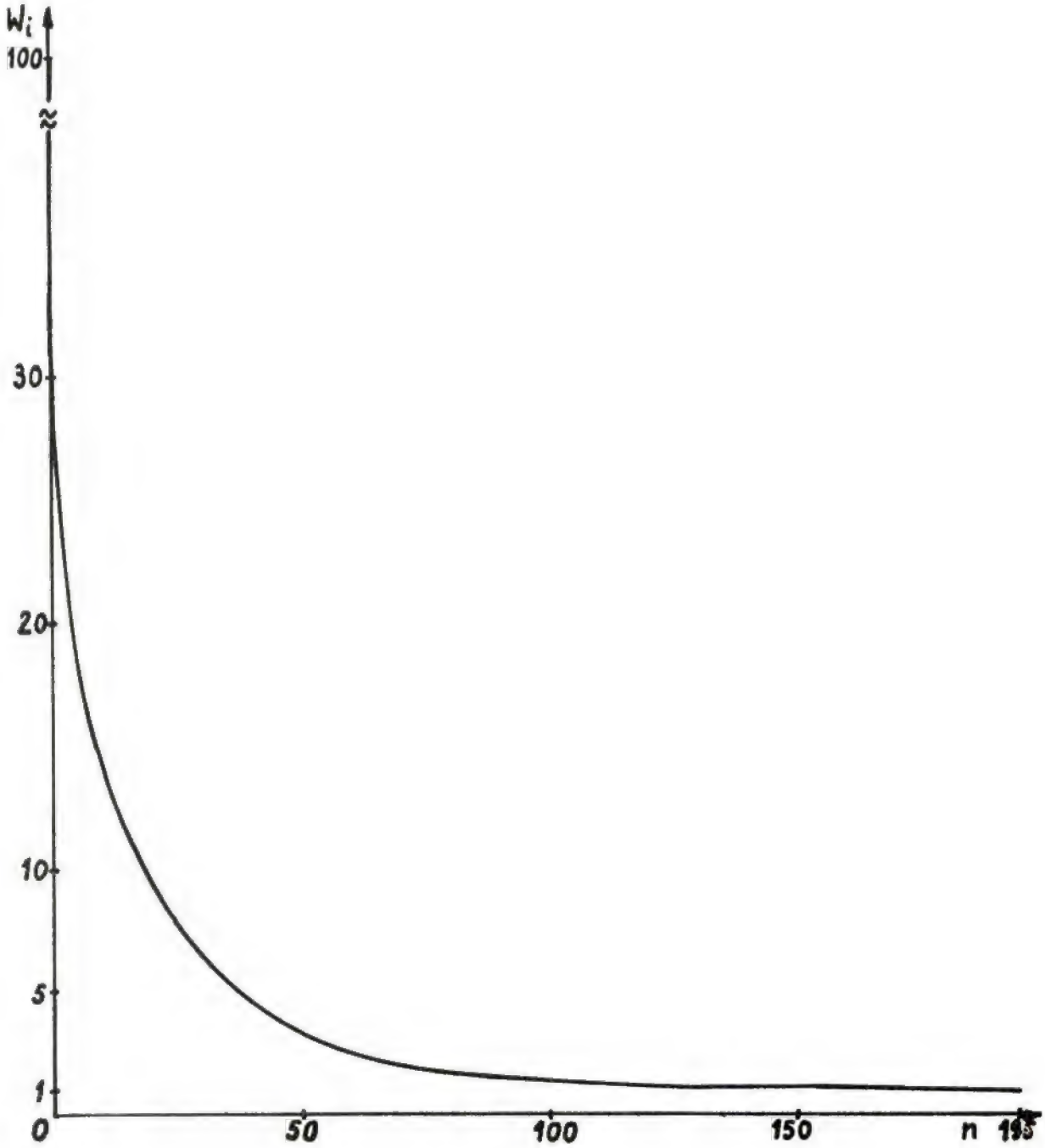


Fig. 8 A
Gás «banho» de Bose-Einstein

QUADRO VII

Nível	Previsto	50 000 col. (méd. 10 000)	70 000 col. (méd. 30 000)
1	17.16	16.80	16.96
2	16.64	16.60	16.60
3	16.04	16.10	16.02
4	15.37	15.63	15.45
5	14.62	14.67	14.52
6	13.80	13.90	13.89
7	12.91	13.17	12.92
8	11.97	11.40	11.79
9	11.00	10.64	10.84
10	10.00	10.18	10.11
11	9.00	9.00	9.05
12	8.03	8.59	8.27
13	7.09	6.53	6.71
14	6.20	6.40	6.37
15	5.38	5.27	5.26
16	4.63	4.21	4.68
17	3.96	3.86	3.99
18	3.36	2.94	2.97
19	2.84	2.77	2.89
20	2.38	2.41	2.43
21	2.00	1.55	1.80
22	1.66	1.85	1.80
23	1.38	1.80	1.58
24	1.15	1.39	1.23
25	.95	.73	.76
26	.78	.95	.77
27	.65	.96	.93
28	.53	.57	.53
29	.44	.55	.48
30	.36	.50	.46
31	.30	.43	.39
32	.24	.19	.25
33	.20	.46	.35
34	.16	.10	.12
35	.13	.09	.08
36	.11	.27	.20
37	.09	.17	.14
38	.07	.02	.01
39	.06	.05	.06
40	.05	.11	.10

Acima do nível 40 o preenchimento previsto é menor que .05 e nos 60 níveis restantes só dois dos preenchimentos médios atingiram valores desta ordem de grandeza, ambos para a média de 10 000 colisões, pelo que não são apresentados valores para estes níveis.

Na Fig. 9 e no Quadro VIII apresenta-se o desvio quadrático médio σ_i^2 comparado com o valor previsto por [5].

$$\sigma_i^2 = n_{ieq}\ (1 - n_{ieq}/N_i) \qquad (3.8)$$

em que n_{ieq} é o número de electrões no nível i em equilíbrio termodinâmico. Tal como previsto as flutuações são maiores na vizinhança do nível de Fermi (nível 10). Acima do nível 40 os valores previstos eram menores que .05 e nos valores encontrados nos restantes 60 níveis só um atingia este valor, tanto para 50 000 como para 70 000 colisões, pelo que os valores também não são apresentados.

QUADRO VIII

Nível	Previsto	50 000 col. (méd. 10 000)	70 000 col. (méd. 30 000)
1	2.43	2.62	2.66
2	2.80	2.26	2.41
3	3.17	2.36	2.81
4	3.56	3.07	3.15
5	3.93	3.77	3.89
6	4.28	4.38	4.18
7	4.58	3.66	3.81
8	4.81	4.18	4.37
9	4.95	4.28	4.57
10	5.00	4.76	4.90
11	4.95	4.91	4.87
12	4.81	4.85	5.41
13	4.58	3.85	4.14
14	4.28	4.05	3.76
15	3.93	4.14	3.98
16	3.56	2.73	3.12
17	3.17	2.97	3.29
18	2.80	2.19	2.19
19	2.43	2.50	2.44
20	2.10	2.83	2.69
21	1.80	1.04	1.59
22	1.53	1.61	1.69
23	1.29	1.30	1.33
24	1.08	1.23	1.06
25	.90	.72	.71
26	.75	.88	.75
27	.63	.16	1.38
28	.52	.74	.66
29	.43	.52	.42
30	.35	.37	.38
31	.29	.26	.28
32	.24	.21	.30
33	.20	.45	.37
34	.16	.09	.10
35	.13	.10	.09
36	.11	.21	.17
37	.09	.16	.14
38	.07	.02	.01
39	.06	.05	.06
40	.05	.10	.09

O tempo de CPU foi de cerca de 6 minutos para 70 000 colisões.

Os valores encontrados apresentam um bom acordo com os valores previstos para grandes populações, melhorando se tomarmos médias sobre um número crescente de colisões.

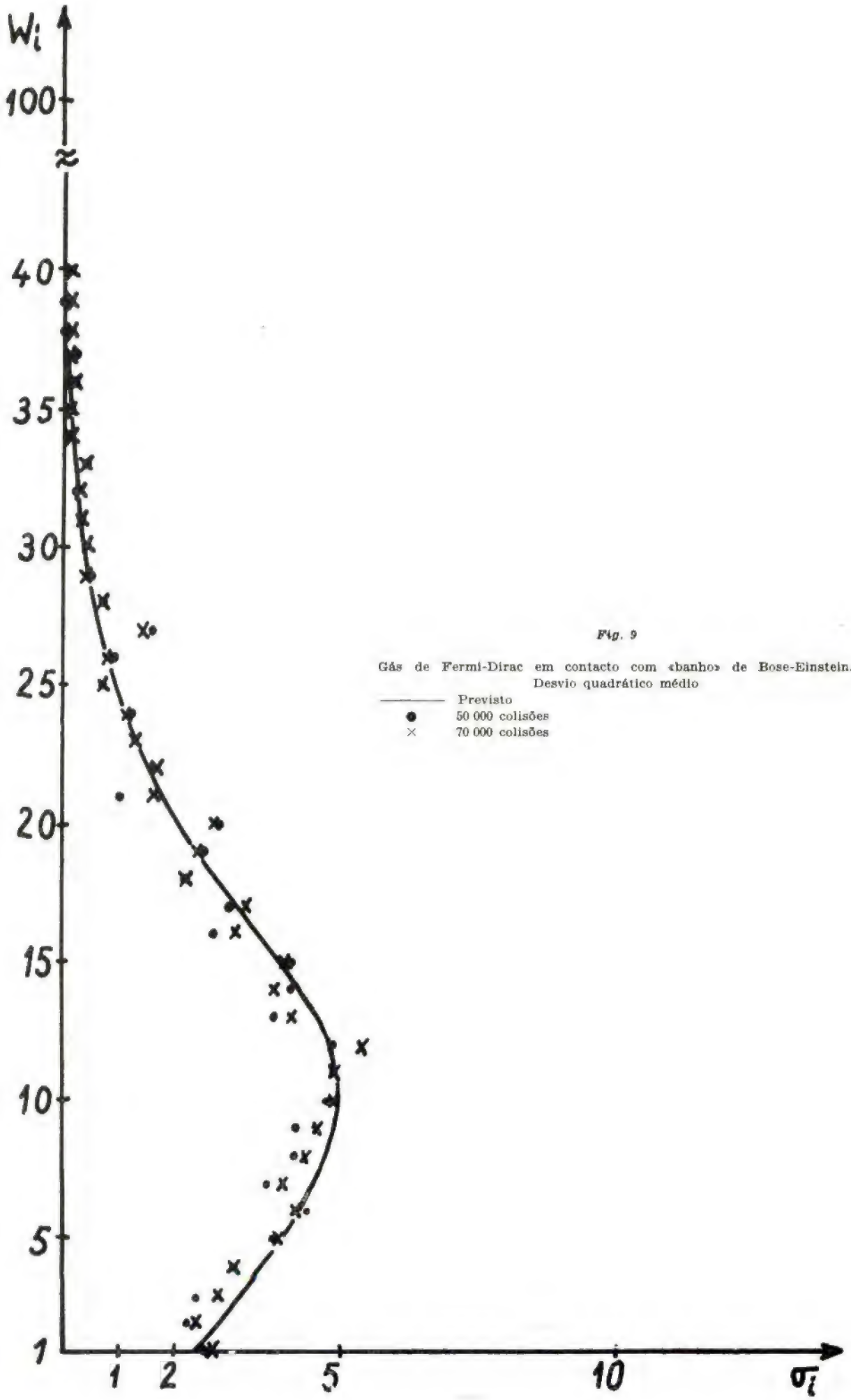


Fig. 9

Gás de Fermi-Dirac em contacto com «banho» de Bose-Einstein. Desvio quadrático médio

——— Previsto
● 50 000 colisões
× 70 000 colisões

4. CONCLUSÕES

Para qualquer das estatísticas foi bom o acordo entre os resultados obtidos para pequenas populações e os resultados previstos por expressões deduzidas no domínio das grandes populações, embora esse acordo não seja perfeito. O acordo é tanto melhor quanto maior for o número de colisões sobre o qual a média é tomada. O método não é no entanto praticável para populações da ordem de grandeza das dos electrões nos cristais, visto que com os meios de cálculo actualmente disponíveis os tempos de CPU são da ordem dos ms por colisão e o número de colisões para tomar valores médios, se considerarmos que é aceitável que cada uma das partículas tenha probabilidade diferente de zero de encontrar todas as outras, será da ordem do quadrado do número de elementos da população.

Este método de Monte Carlo pode no entanto ser útil em situações em que as populações em causa sejam pequenas e em que portanto as expressões 1.1 não são necessariamente válidas.

O método usado esclarece quais as diferenças profundas de comportamento entre partículas de estatísticas diferentes, e que não são aparentes nas diferenças triviais entre as expressões que traduzem os resultados. Em particular, comparando as estatísticas de Maxwell-Boltzmann e Bose-Einstein a diferença subtil entre as partículas serem respectivamente discerníveis e não discerníveis, traduziu-se afinal em que na estatística de Maxwell-Boltzmann obtêm-se configurações microscópicas distintas retirando qualquer partícula, mesmo que haja várias partículas ocupando o mesmo estado quântico, enquanto na estatística de Bose-Einstein só se obtêm configurações distintas retirando partículas de estados quânticos diferentes.

5. AGRADECIMENTO

Ao Professor Doutor Borges da Silva, agradece o autor pelo encorajamento e valiosas sugestões; em particular, no que diz respeito à estatística de Bose-Einstein.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] **H. Abreu Santos,** «Obtenção por simulação numérica da distribuição em energia de uma população de electrões», Técnica, N.º 433, Fev. 76, pág. 219 a 229.

[2] «Number theory background for the power residue method», brochura IBM CG 20-8011-0 (extracto).

[3] **L. Landau e E. Lifchitz,** «Physique Statistique», Editions MIR, 1967, pág. 201.

[4] **H. Abreu Santos,** referência citada, pág. 225, 3.2.

[5] **Arnold Sommerfeld,** «Thermodynamics and Statistical Mechanics», Lectures on Theoretical Physics, vol. V, Academic Press, 1964.

Ver fim do Apêndice I, (1).

APÊNDICE I

Consideraram-se níveis de energia de $i=1...m$. Sejam para cada nível de energia

W_i — energia no nível i

N_i — número de estados quânticos no nível i

n_i — número de partículas no nível i

N_0 — número total de partículas

Para o modelo de colisões descrito em 2., uma distribuição será de equilíbrio quando, para cada um dos níveis, a probabilidade de sair uma partícula desse nível for igual à probabilidade de entrar uma partícula nesse nível após a colisão (1).

Não vamos demonstrar que os mecanismos descritos em 2.1, 2.2 e 2.3 conduzem às respectivas distribuições de equilíbrio, mas só que essas distribuições são de equilíbrio para os mecanismos usados, embora não sejam necessariamente as únicas.

A.1 — Maxwell-Boltzmann

A probabilidade de saída de uma partícula do nível i é

$$p_{Si} = C_i n_i \qquad \text{(A1.1)}$$

$$\text{onde } C_i = 1 \Big/ \sum_{i=1}^{m} n_i = 1/N_0$$

Para que haja possibilidade de entrada de uma partícula no nível i é preciso que a energia da colisão $W_{col} > W_i$. Tendo as partículas em colisão saído dos níveis i e k, $Wcol = W_i + W_k$, que para igual afastamento entre níveis de energia é também $W_{col} = W_{i+k}$. A entrada, após a colisão, ao nível i corresponde um peso $N_i N_k$, visto que, havendo conservação da energia, se uma partícula entra no nível i a outra entra no nível k. São possíveis as entradas correspondentes a $\sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n}$. A probabilidade de a energia de colisão ser W_{i+k} é

$$\sum_{n=1}^{i+k-1} p_{Sn}\, p_{Si+k-n} = \sum_{n=1}^{i+k-1} C_i^2\, n_n\, n_{i+k-n}$$

Como k pode variar de um até m temos para probabilidade de entrada no nível i

$$P_{Ei} = \sum_{k=1}^{m} \frac{\sum_{n=1}^{i+k-1} C_1^2 n_n n_{i+k-n} N_i N_k}{\sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n}} \qquad \text{(A1.2)}$$

Sendo para uma distribuição de Maxwell-Boltzmann

$$n_i = N_i \exp(\alpha + \beta W_i) \qquad \textbf{(A1.3)}$$

de (A1.1) e (A1.2), atendendo a (A1.3) e a que $W_{a+b} = W_a + W_b$

$$psi = C_i N_i \exp(\alpha + \beta W_i)$$

$$P_{Ei} = C_1^2 \sum_{k=1}^{m} \frac{\sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n} \exp\left[2\alpha + \beta\left(W_i + W_k\right)\right] N_i N_k}{\sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n}}$$

$$= C_1^2 N_i \exp\left(\alpha + \beta W_i\right) \sum_{k=1}^{m} N_k \exp\left(\alpha + \beta W_k\right) \frac{\sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n}}{\sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n}} \qquad \text{(A1.4)}$$

$$\text{Sendo} \sum_{k=1}^{m} N_k \exp\left(\alpha + \beta W_k\right) = N_o = 1/C_1$$

$$p_{Ei} = (1/N_o) N_i \exp(\alpha + \beta W_i) = p_{Si}$$

A.2 — Bose-Einstein

A probabilidade de saída é proporcional ao número de estados, dos N_i estados quânticos, que tiverem uma particula ou mais e é (ver Apêndice II)

$$n_i N_i / (N_i + n_i - 1)$$

ou, se $N_i + n_i \gg 1$

$$p_{Si} = C_2 \, n_i N_i / (N_i + n_i) \qquad \textbf{(A2.1)}$$

onde

$$C_2 = 1 \Big/ \sum_{i=1}^{m} \left[n_i N_i / \left(n_i + N_i\right) \right] \qquad \text{(A2.2)}$$

A probabilidade de entrada, por um raciocinio análogo ao seguido em A.1 é

$$P_{Ei} = \sum_{k=1}^{m} \frac{\sum_{n=1}^{i+k-1} C_2^2 \, n_n N_n \, n_{i+k-n} N_{i+k-n} N_i N_k}{\left(n_n + N_n\right)\left(n_{i+k-n} + N_{i+k-n}\right) \sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n}} \qquad \text{(A2.3)}$$

Sendo para uma distribuição de Bose-Einstein

$$n_i = N_i/[\exp(\alpha + \beta W_i) - 1] \qquad (A2.4)$$

substituindo (A2.4) em (A2.1) e (A2.2)

$$p_{Si} = C_2 \, N_i \, \exp(-\alpha - \beta W_i)$$

$$C_2 = 1 \Big/ \sum_{i=1}^{m} N_i \, \exp(-\alpha - \beta W_i)$$

Substituindo (A2.4) em (A2.3) e simplificando

$$P_{Ei} = C_2^2 \sum_{k=1}^{m} \frac{\sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n} \exp\left[-2\alpha - \beta(W_i + W_k)\right] N_i N_k}{\sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n}}$$

$$= C_2^2 \, N_i \exp(-\alpha - \beta W_i) \sum_{k=1}^{m} N_k \exp(-\alpha - \beta W_k) \frac{\sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n}}{\sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n}}$$

$$\text{Sendo} \sum_{k=1}^{m} N_k \exp(-\alpha - \beta W_i) = 1/C_2$$

$$p_{Ei} = C_2 \, N_i \, \exp(-\alpha - \beta W_i) = p_{Si}$$

A.3 — Fermi-Dirac

A probabilidade de saída é

$$p_{Si} = C_3 \, n_i$$

onde

$$C_3 = 1/N_o$$

As entradas no nível i só se podem dar nos estados quânticos vagos $N_i - n_i$. Tendo isto em conta, por um raciocínio semelhante ao seguido em A.1, a probabilidade de entrada é

$$P'_{Ei} = C_3^2 \sum_{k=1}^{m} \frac{\sum_{n=1}^{i+k-1} n_n n_{i+k-n} (N_i - n_i)(N_k - n_k)}{\sum_{n=1}^{i+k-1} (N_n - n_n)(N_{i+k-n} - n_{i+k-n})}$$

$$= C_3^2 (N_i - n_i) \sum_{k=1}^{m} (N_k - n_k) \frac{\sum_{n=1}^{i+k-1} n_n n_{i+k-n}}{\sum_{n=1}^{i+k-1} n_n n_{i+k-n} \left(\frac{N_n}{n_n} - 1\right)\left(\frac{N_{i+k-n}}{n_{i+k-n}} - 1\right)} \qquad (A3.1)$$

sendo para uma distribuição de Fermi-Dirac

$$n_i/N_i = 1/[\exp(\alpha + \beta W_i) + 1]$$

então

$$n_i/N_i - 1 = \exp(\alpha + \beta W_i) \qquad \text{(A3.2)}$$

Substituindo (A3.2) em (A3.1) e simplificando

$$P_{Ei} = C_3^2 (N_i - n_i) \sum_{k=1}^{m} (N_k - n_k) \frac{\sum_{n=1}^{i+k-1} n_n n_{i+k-n}}{\exp\left[2\alpha + \beta(W_i + W_k)\right] \sum_{n=1}^{i+k-1} n_n n_{i+k-n}}$$

Atendendo a (A3.2)

$$\sum_{k=1}^{m} n_k (N_k/n_k - 1) \exp(-\alpha - \beta W_k) = N_o = 1/C_3$$

$$p_{Ei} = C_3 n_i = p_{Si}$$

* * *

(1)

Porque uma partícula pode abandonar um nível quer como primeiro quer como segundo termo da colisão, e pode entrar num nível como primeira ou segunda partícula após a colisão, sendo as duas partículas indiscerníveis quanto à ordem porque saem ou entram, mesmo no caso de Maxwell-Boltzmann, basta para estudar o mecanismo de colisão considerar a entrada e a saída de uma das partículas. Só não ficam contemplados na demonstração os casos em que as partículas saem ou entram as duas do ou no mesmo nível. Considerando essas hipóteses teríamos:

Maxwell-Boltzmann

Saída

$$p'_{Si} = p_{Si} + p_{Si}\,(n_i - 1)/(N_o - 1) \simeq p_{Si} \quad \text{se } n_i \ll N_o$$

Entrada

Mantém-se

Bose-Einstein

Saída

$$p'_{si} = p_{Si} + p_{Si} \frac{(n_i - 1) N_i}{\left[N_i + (n_i - 1)\right] \sum_{i=1}^{m} \frac{n_i N_i}{N_i + n_i}} \simeq p_{Si}$$

se $p_{si} \ll 1$, visto que o 2.º termo é da ordem de p_{si}^2

Entrada

Substituir as hipóteses de entrada

$$\sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n}$$

por

$$\sum_{\substack{n=1 \\ n \neq (i+k)/2}}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n} + N_{(i+k)/2}\left[N_{(i+k)/2} + 1\right] \simeq \sum_{n=1}^{i+k-1} N_n N_{i+k-n} \quad \text{se} \quad N_{(i+k)/2} \gg 1$$

Fermi-Dirac

Saída

Como em Maxwell-Boltzmann

Entrada

Substituir as hipóteses de entrada

$$\sum_{n=1}^{i+k-1} (N_n - n_n)(N_{i+k-n} - n_{i+k-n})$$

por

$$\sum_{\substack{n=1 \\ n \neq (i+k)/2}}^{i+k-1} (N_n - n_n)(N_{i+k-n} - n_{i+k-n}) + \left[N_{(i+k)/2} - n_{(i+k)/2}\right]\left[N_{(i+k)/2} - n_{(i+k)/2} - 1\right]$$

que é aproximadamente igual ao anterior se as vagas no nível $(i + k)/2$ forem muito maiores do que um.

APÊNDICE II

Seja um nível genérico de energia com N estados equiprováveis e n partículas indiscerníveis. Cada estado pode ser ocupado por uma ou mais partículas.

Seja k o número de estados com uma partícula ou mais; N-k estados estão vazios. Para garantirmos que os k estados têm pelo menos uma partícula, imobilizemos uma em cada um deles. As n-k partículas restantes podem ser dispostas nos k estados dum número de maneiras que corresponde às combinações com repetição de k, n-k a n-k

$$C_{n-k}^{n-1}$$

Com N estados podemos formar um número de grupos de k estados diferentes

$$C_k^N$$

O número total de estados com zero partículas será então

$$\sum_k (N-k)\, C_{n-k}^{n-1}\, C_k^N$$

Sendo o número total de estados

$$C_n^{N+n-1}$$

a probabilidade de obter estados vazios é

$$Z(n,N) = \frac{\sum_k (N-k)\, C_{n-k}^{n-1}\, C_k^N}{C_n^{N+n-1}}$$

Simplificando e atendendo a que

$$\sum_k C_{b-k}^a\, C_k^c = C_b^{a+c}$$

então $Z(n,N) = (N-1)/(N+n-1)$
e portanto a probabilidade de um dos N estados ter uma ou mais partículas é

$$1 - Z(n,N) = n/(N+n-1)$$

Sumários de números anteriores

Encontram-se à venda na Secção TÉCNICA aos seguintes preços:

1 a 420 (inclusive) — 10$00 cada exemplar
421 a 436 (inclusive) — 35$00 cada exemplar
438, 439, 442 — 60$00 cada exemplar
440/441 — 100$00 cada exemplar

TÉCNICA 305 — Outubro 1960

Valorização individual e progresso colectivo ... *Luís Almeida Alves*
Bases teóricas para a determinação experimental do espectro de potência ... ... *M. J. Abreu Faro*
Problemas do estado plástico ... ... *M. F. Almeida e Sá*
Reacções químicas sucessivas de primeira ordem — constantes cinéticas ... ... *A. G. Silva Pinto*
Cálculo a rotura de estruturas heterogéneas ortotrópicas ... ... *W. Olezak e A. Sawczuk*

TÉCNICA 306 — Novembro 1960

Semana de recepção aos novos alunos ... . *Luís Almeida Alves*
Considerações sobre a determinação da carga térmica dos motores de combustão interna *F. de Almeida e Castro*
O controlo da fabricação do betão e a medição da sua qualidade no estaleiro ... ... *A. de Sousa Coutinho*
Amplificação de sinais eléctricos muito curtos. Estudo da amplificação distribuida ... ... *J. M. Jervis Pereira*
Cálculo à rotura de estruturas heterogéneas ortotrópicas ... ... *W. Olezak e A. Sawczuk*

NÚMERO 443 OUTUBRO DE 1977 ANO LII VOLUME XXXIX

C. D. U. 552.1.067.1

Ocorrência de scheelite em rochas calco-silicatadas da região de Vila Franca das Naves

A. F. FERREIRA PINTO
Departamento de Mineralogia e Geologia,
Universidade de Coimbra
A. F. BARROS
Departamento de Engenharia de Minas,
Universidade de Coimbra

RESUMO

A presente nota refere a ocorrência de scheelite em bancadas de rochas calco-silicatadas das zonas de Rocamondo e de Freches (carta geológica 18-A). Estas rochas constituem um conjunto grosseiramente paralelo com direcções N70°W verticais a sub-verticais.

Mineralogicamente trata-se de rochas com textura granoblástica a porfiroblástica essencialmente constituídas por plagioclase, clinopiroxena diopsídica e anfíbola, a que se associam idocrase e granada. Acessoriamente estão presentes esfena, zoizite, clinozoizite, apatite e opacos. A scheelite ocorre em quase todas as rochas em pequenos grãos.

A formação e evolução das rochas calco-silicatadas estará relacionada com acções de metamorfismo de contacto exercidas pelo granito no seio do qual se localizam os retalhos xistosos que englobam os níveis estudados.

A mineralização scheelítica ocorre normalmente disseminada no seio da rocha escarnítica, parecendo tratar-se de ocorrências pobres do ponto de vista económico não só pela irregularidade da mineralização como também pelo seu grau de finura.

SUMMARY

The calc-silicate rocks are concordant with the schists which are orientated N 70°W vertical to sub-vertical.

These rocks have a granoblastic to porphyroblastic texture and they contain plagioclase, diopsidic clinopyroxene, amphibole and some idocrase and garnet. The following accessory minerals were also found: sphene, zoisite, clinozoisite, apatite and opacs. Scheelite was found in small grains in most of the rocks studied.

Some big schist xenoliths occur inside the granite of the area and it is thought that the scheelite mineralization and the last part of the evolution of the calc-silicate rocks is related to the effects of the granite contact metamorphism.

The scheelite generally occurs in small scattered grains in skarns, so it seems that the economic interest of this mineralization will be small.

I — INTRODUÇÃO

A presente nota inicia um trabalho mais amplo e inscreve-se em futuros estudos de pormenor que os autores pretendem levar a cabo relativamente a algumas dezenas de afloramentos de rochas calco-silicatadas mineralizadas por scheelite.

A scheelite dos afloramentos referidos neste trabalho foi pela primeira vez detectada em trabalho de campo efectuado por um dos autores (A. F. Barros) e M. M. Azevedo.

II — GEOLOGIA E MINERALIZAÇÃO

A região de Vila Franca das Neves cuja cartografia geológica está feita à escala 1/50 000 (carta geológica 18-A) é fundamentalmente ocupada por rochas de natureza granítica e alguns retalhos de rochas xistentas que se admite possam pertencer ao complexo xisto-grauváquico. (Teixeira, C., Medeiros, A. C., Pilar, L., Carvalhosa, A. e Ferro M., 1963).

Em duas dessas manchas (Rocamondo e Freches) ocorre scheelite associada a tipos litológicos

Manuscrito recebido para publicação em 4/1/77.

calco-silicatados. Estas rochas, mais perfeitamente representadas nos afloramentos de Rocamondo, com possanças variáveis desde poucos centímetros até 3 metros ocorrem em camadas intercaladas nos xistos. A rocha granitóide de grão grosseiro que envolve os retalhos xistentos penetra-os profundamente sob a forma de apófises que podem cortar as faixas calco-magnesianas.

As bancadas calco-silicatadas constituem um conjunto grosseiramente paralelo de direcção próxima de N70°W e de pendor vertical ou sub-vertical, concordante com a rocha intercalante (Fig. 1).

No entanto e apenas na zona de Rocamondo, dada a extensão do afloramento calco-silicatado e a presença, embora em teores baixos, de mineralização scheelítica em vários locais, é de pensar ter interesse a execução de clássicos trabalhos de pesquisa.

Esta opinião é reforçada pela existência neste local de concessões de volframite, actualmente na situação de abandono.

Do ponto de vista de beneficiação, considera-se o minério do tipo silicioso com ocorrência scheelítica fina. (A. M. Cerveira, 1971).

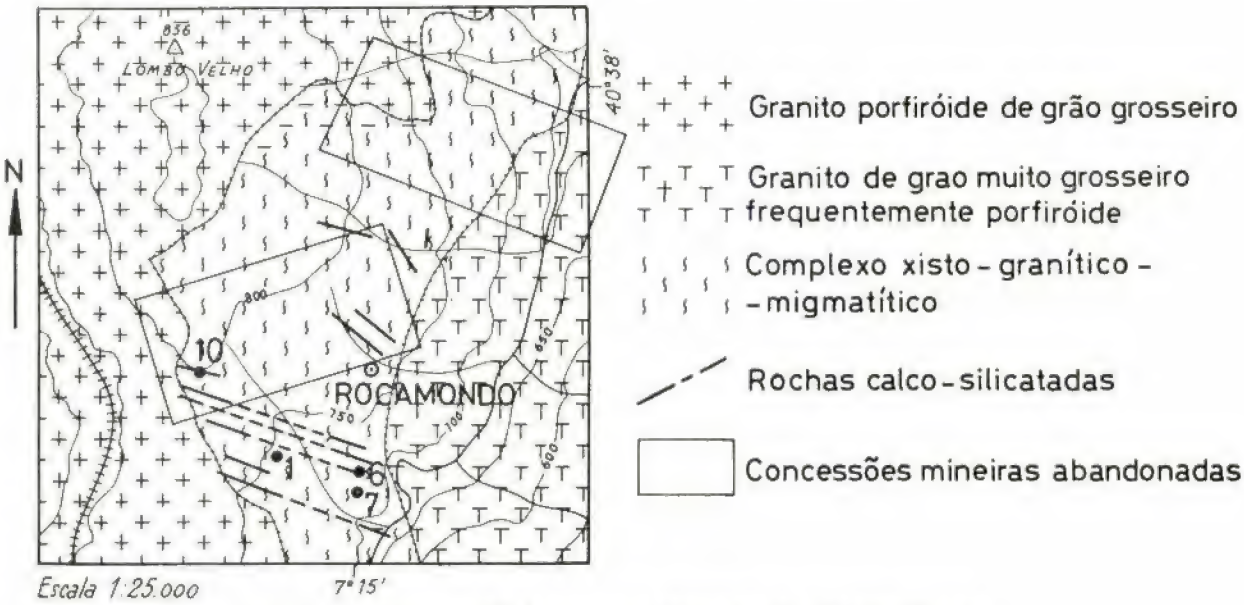


Fig. 1 - Esboço geológico da região de Rocamondo

O seu modo de ocorrência é variável, sob a forma de finas camadas centimétricas intercaladas no micaxisto numa extensão de vários metros, ou apresentando-se em camadas espessas que revelam variações composicionais.

Na mancha de Freches os tipos calco-magnesianos estão mais pobremente representados e as camadas dificilmente se conseguem observar no terreno, sendo no entanto abundantes os calhaus resultantes da sua desagregação; ainda neste caso se observa concordância com a rocha encaixante e sub-verticalidade das camadas.

Dentro de uma classificação morfológico-genética, considera-se este afloramento scheelítico englobado no grupo dos jazigos estratóides de substituição metassomática em rochas sedimentares carbonatadas.

A mineralização ocorre disseminada no seio da rocha escarnítica e mais raramente em finos leitos preferenciais, parecendo revelar tendência a associações com idocrase.

Numa perspectiva de valorização económica é provável estarmos em presença de ocorrências pobres não só pela irregularidade da mineralização como também pelo seu fino granulado.

III — PETROGRAFIA

III. 1. Rocha encaixante

As bancadas de natureza calco-silicatada estão envolvidas por micaxisto por vezes profundamente alterado. O micaxisto revela textura granolepidoblástica e é constituído por quartzo, biotite e moscovite, como minerais essenciais, e acessoriamente por sericite, turmalina, apatite, plagioclase (Andesina An 38) e opacos.

O quartzo é mineral frequente sob a forma de grãos com dimensão média de 0,2 mm, revelando fracturas normalmente ocupadas por óxidos de ferro que resultarão da descoloração muito profunda da biotite. Esta mica revela de facto uma perda acentuada de coloração passando a moscovite, mas em certas porções conserva ainda a cor original castanha avermelhada (ng=nm) variável até amarelo quase incolor (np). Inclusões de zircão com auréolas pleocroicas de tom castanho escuro.

A moscovite parece poder ser atribuída a duas gerações: uma que teria resultado da biotite disposta

segundo a estratificação e outra posterior, cortando cristais biotíticos.

A partir deste tipo xistento é possível estudar-se a passagem às bancadas calco-silicatadas já detectável a nível de afloramento.

Assim, desde o micaxisto onde a biotite é substituída por clorite, evolui-se para uma banda essencialmente constituída por calcite com o aparecimento prévio de grãos de clinozoisite e de anfibola actinolítica. A clinopiroxena diopsídica associa-se em pequenos cristais (dimensão média de 0,87 mm), sendo incolor a muito levemente esverdeada. Este mineral com o quartzo e a plagioclase forma uma matriz granular que envolve esfena, apatite, grãos de minérios opacos e esporadicamente pequenas lamelas biotíticas normalmente cloritizadas.

A passagem às faixas calcíticas faz-se de modo brusco e é marcada pelo desenvolvimento de cristais de diopsido que são envolvidos por uma matriz resultante da profunda alteração da plagioclase onde se destacam grãos de clinozoisite, zoisite e calcite, assim como amígdalas de sílica criptocristalina.

III. 2. Rochas calco-silicatadas

O aspecto macroscópico destes tipos litológicos mostra-se por vezes acentuadamente variável de afloramento para afloramento e por vezes dentro da mesma camada.

Em qualquer caso, no entanto, uma meteorização diferencial confere às rochas aspecto característico em que finas faixas mais salientes alternam com outras de aspecto reentrante. Este aspecto, associado à faixa exterior acastanhada de alteração constitui um factor auxiliar importante na prospecção de tais tipos litológicos.

As rochas estudadas são de modo geral finamente granulares e bem foliadas, pelo que resultam bandas centimétricas de diferentes colorações com frequentes tonalidades esverdeadas alternantes com outras acastanhadas; no entanto algumas das rochas podem não mostrar litagem mas um aspecto maciço com tons de cinzento esverdeado.

Uma mesma bancada pode revelar variações locais com faixas essencialmente marcadas pelo desenvolvimento preferencial dum mineral como acontece com a idocrase, granada ou com minerais do grupo do epídoto.

Desenvolvendo-se paralelamente à estratificação, veios pegmatíticos com espessura média de três centímetros podem evidenciar-se no seio das camadas calco-magnesianas.

III. 2.1. Estudo microscópico

Os tipos litológicos de Rocamondo e Freches mostram composição mineralógica idêntica pelo que passam a ser analisados em conjunto.

Sob o microscópio é visível a estrutura normalmente bem foliada que deverá corresponder à estratificação da rocha original; a textura é granoblástica podendo passar a porfirogranoblástica.

QUARTZO — Mineral comum a todas as rochas estudadas ocorre em grãos; eventualmente em bandas paralelas. Os cristais têm disposição em mosaico com os contornos de aspecto lobado e dimensões variáveis entre 0,03 e 2 mm. Formas de contorno hexagonal surgem com carácter esporádico.

PLAGIOCLASE — Cristais revelando tendência prismática com dimensões entre 0,04 e 2 mm. São frequentes maclas da albite e associações albite-periclina, surgindo também geminações devidas a acções de natureza tectónica com terminação em bisel e planos de macla com fortes encurvamentos.

Trata-se de Bytownite (An 74). No entanto, alguns dos tipos estudados revelam albitização mais ou menos profunda com desenvolvimento de Albite (An = 8%).

O mineral ocorre ainda intimamente associado ao quartzo formando uma estrutura em mosaico, cuja origem poderá estar relacionada com recristalizações após fragmentação periférica dos cristais mais desenvolvidos.

Agregados de finas lamelas sericíticas associadas a grãos de clinozoizite e plagas calcíticas substituem com frequência os cristais plagioclásicos, podendo associar-se prenite que desenvolve uma rede de veios finos que cruzam os cristais.

A evolução da plagioclase no sentido de um feldspato potássico do tipo da microclina pôde ser observada em algumas das rochas pelo desenvolvimento de manchas microclínicas nos cristais de plagioclase.

CLINOPIROXENA — Sempre presente em todas as rochas sob a forma de grãos ou cristais com tendência prismática; as dimensões médias variam entre 0,03 e 1,7 mm.

São frequentes maclas polissintéticas muito finas com planos de macla encurvados.

Sobre os cristais pode desenvolver-se uma anfíbola actinolítica que mantêm a mesma continuidade óptica.

Trata-se de uma piroxena da série do diópsido-hedenbergite com ângulo dos eixos ópticos (2V) variando entre 56° e 61° (valores mais frequentes da ordem dos 58°) e ângulos de extinção ($c \wedge ng$) compreendidos entre 42 e 45°.

ANFIBOLA — Certos tipos calco-silicatados podem revelar o aparecimento duma anfíbola actinolítica sob a forma de cristais primáticos, com terminações franjadas, dispostos alinhadamente com a foliação. Trata-se duma actinolite de cor verde levemente azulada (ng) variável até amarelo esverdeado (np) e com ângulos médios de extinção 17° ($c \wedge ng$).

IDOCRASE — Mineral que ocorre apenas nalguns dos tipos estudados, mas onde toma grande desenvolvimento ocupando elevada percentagem em volume (Quadro I) (Fot. 1).

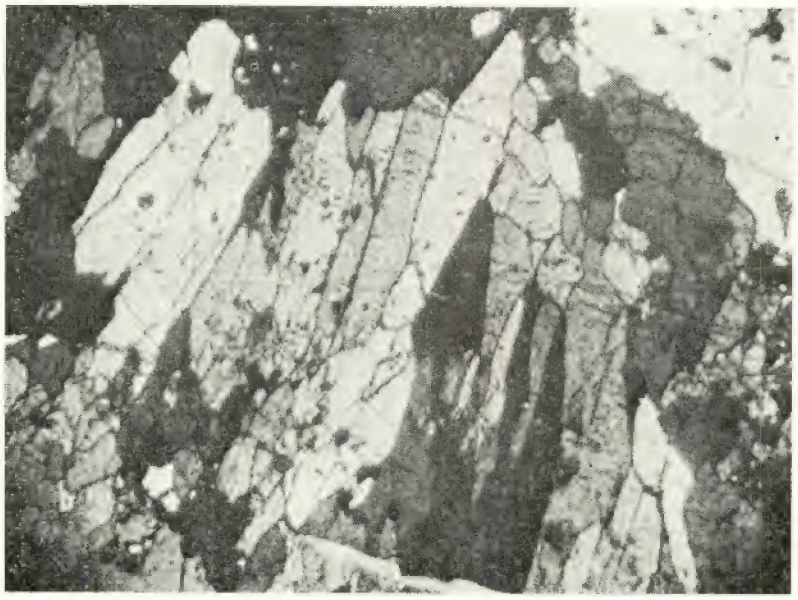
QUADRO I

ANÁLISES MODAIS DE ALGUNS TIPOS CALCO-SILICATADOS
(percentagens em volume)

	CS1 RO	CS6 RO	CS7 RO	CS10 RO	CS10A RO
Quartzo	21,29	12,73	19,24	6,10	5,30
Plagioclase	46,08	56,31	27,01	44,01	6,62
Diopsido	26,59	24,51	28,50	42,25	9,92
Actinolite	0,39	1,12	—	—	—
Idocrase	—	—	22,02	—	75,70
Granada	—	—	—	—	0,56
Esfena	2,19	2,82	1,39	2,36	0,17
Clinoz + zoiz.	0,22	0,53	1,56	3,67	1,06
Apatite	0,26	0,11	—	0,11	0,11
Prenite	1,93	0,56	—	1,05	0,56
Opacos	0,39	0,77	trs	—	—
Calcite	0,13	—	—	—	—
Fluorite	—	0,29	—	—	—
Scheelite	—	0,25	0,28	0,45	trs
Clorite	—	—	trs	—	—
Pontos contados	2 279	2 832	2 888	2 672	1 794

LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

CS1 RO — A S-40°E e a 925 metros do marco geodésico de Lombo-Velho
CS6 RO — A S-22°E e a 1625 » » » » » »
CS7 RO — A S-22°E e a 1650 » » » » » »
CS10 RO — A S- 4°E e a 1175 » » » » » »



Fot. 1 — Cristal de idocrase com extinção em faixas atravessado por fino veio de quartzo. *Luz pol.*. *n+*, (x25)

As formas então reveladas assumem aspectos prismáticos ou quadrangulares com contornos rectilíneos perfeitamente marcados pelo quartzo. Os cristais, com extinção característica por secções, atingem dimensão máxima da ordem dos 4,4 mm, individualizando faixas bem definidas onde podem revelar aspectos poincilíticos.

GRANADA — Também a sua ocorrência está limitada apenas a alguns dos tipos em estudo, podendo aí ocupar grande percentagem sob a forma de cristais incolores corroendo os restantes componentes.

Em todas as rochas estudadas e acessoriamente ocorrem esfena, zoizite, clinozoizite, (Fot. 2), apatite, opacos que em grande parte deverão ser pirrotite; com carácter mais esporádico calcite, biotite, clorite e prenite que pode surgir quer como produto de alteração da plagioclase, quer rodeando grãos de minérios, quer ainda formando veios que atravessam as rochas.

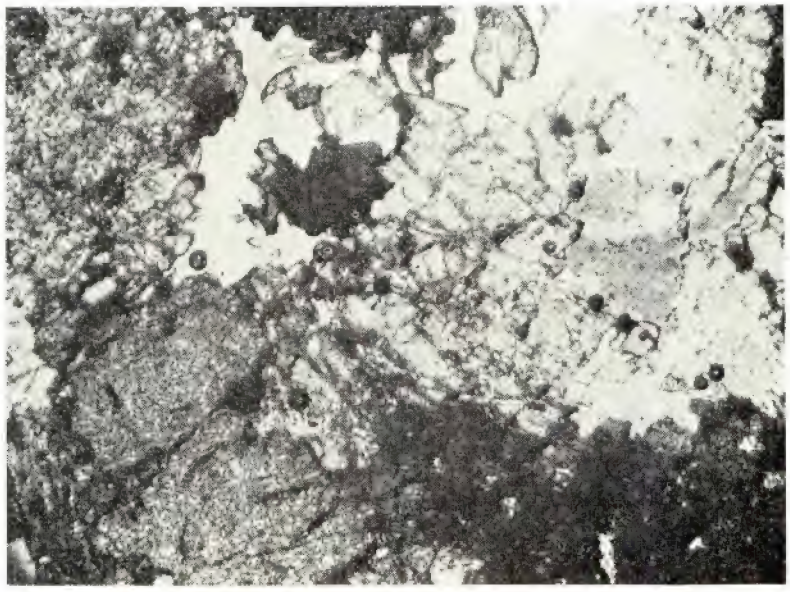
Em quantidade variável, mas presente em quase todas as rochas a scheelite ocorre em pequenos grãos

Fot. 2 — Aspecto textural de tipo calco-silicatado com cristais prismáticos de clinozoizite numa matriz quártzica. *Luz pol.*, *n+*, (x62)

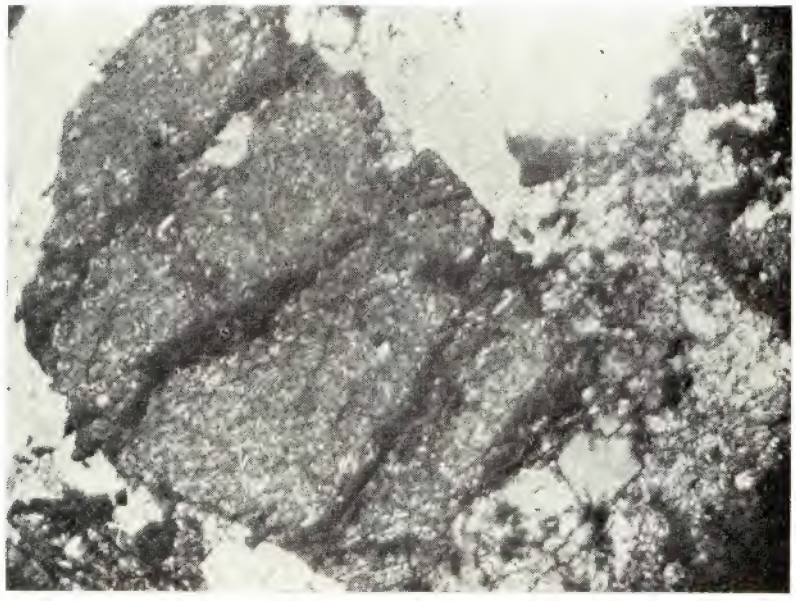
(só esporadicamente atingindo dimensões máximas da ordem dos 2,6 mm) de tom levemente acastanhado; surge inclusa na idocrase, ou pode ser envolvida pelo quartzo que a limita por vezes de modo rectilíneo pelo que é de admitir formação anterior a este mineral (Fots. 3 e 4).

metamorfismo de contacto sob influência de temperaturas e pressões elevadas.

Tais acções ter-se-iam exercido sobre primitivos leitos calcário-dolomíticos impuros intercalados na série xistosa, anteriormente afectados por acções metamórficas regionais.



Fot. 3 — Cristal de scheelite no seio de piroxena e quartzo. *Luz pol., n+*, (x25)



Fot. 4 — Cristal de scheelite intensamente fracturado envolvido por diópsido e quartzo. *Luz pol., n+*, (x25)

IV — BREVES REFERÊNCIAS AOS ASPECTOS METAMÓRFICOS

O desenvolvimento dos níveis calco-silicatados na vizinhança da rocha granitoide aflorante na região leva a admitir origem relacionada com acções de

Sobre tal associação exerceram-se acções de metamorfismo de contacto impostas pelas massas granitoides e primeiramente traduzidas por efeitos de carácter térmico; as associações minerais presentes nos tipos litológicos estudados e particularmente a ausência de volastonite fazem admitir influência de

temperaturas variáveis entre 500 e 600°C (Zharikov, V. A., 1969).

Em parte com carácter simultâneo e posteriormente àqueles efeitos desenvolveram-se acções de metassomatismo com acarreio de substâncias. Neste caso foram importantes os fluidos responsáveis pelo transporte de Si, W e Fe, além de fluor, enxofre e fósforo, estes condicionando o desenvolvimento de fluorite, pirrotite e apatite; também o surgimento da vesuvianite poderá estar relacionado com o acarreio de fluor, embora a sua formação deva estar condicionada por acções metamórficas de contacto.

Fenómenos regressivos ligados a acções de carácter hidrotermal tiveram também influência na evolução dos tipos calco-silicatados, como pode ser atestado pela substituição das plagioclases por sericite e clinozoizite.

De acordo com os conceitos de fácies de alcalinidade (Zharikov, V. A., 1969) as rochas estudadas serão incluídas na fácies do tipo piroxena-plagioclase, enquanto que atendendo à composição mineralógica se incluirão na fácies das corneanas piroxénicas (Turner, F. e Verhoogen, J. 1951) sendo as seguintes as principais associações mineralógicas:

quartzo + plagioclase + diopsido + clinozoizite

quartzo + plagioclase + diopsido + actinolite + clinozoizite

quartzo + plagioclase + idocrase + granada + clinozoizite

BIBLIOGRAFIA

Cerveira, A. M. (1971) — Aspectos gerais dos jazigos de scheelite — I Congresso Hispano Luso-Americano de Geologia Económica — Tomo I, Secção 4.

Teixeira, C., Medeiros, A. C.; Pilar, L., Carvalhosa, A. e **Ferro, M.** (1963) — Notícia explicativa da folha 18-A (Vila Franca das Naves) da carta geológica de Portugal.

Turner, F. e **Verhoogen, J.** (1951) — Igneous and Metamorphic Petrology McGraw-Hill Book Company, Inc.

Zharikov, V. A. (1969) — Skarns. International Geology Revue — V. 12 n.º 5, 6, 7.

Sumário de números anteriores

TÉCNICA 307 — Dezembro 1960

Tendências actuais da técnica das caldeiras de vapor de alta pressão ... ... — *J. C. Adrião de Sequeira*

A aplicação das modernas técnicas físico-químicas à análise rápida de cimentos. Complexometria — *A. Valeriana de Seabra; M. R. Tavares Cravo*

O controlo da fabricação do betão e a medição da sua qualidade no estaleiro ... ... — *A. de Sousa Coutinho*

Nota sobre a flutuação de minérios de urânio ... — *Ramachandra A. Naique*

Escolha electrónica de minérios radioactivos — estudo prévio de três minérios portugueses — *H. Simões Santos*

Do Mundo Técnico.

TÉCNICA 308 — Janeiro 1961

O realismo nas decisões técnicas ... ... — *Luís Almeida Alves*

Caldeiras de circuito aberto ... ... — *J. C. Adrião de Sequeira*

Extracto do auto-plano de urbanização de Constância em elaboração ... ... — *F. N. Palet; A. A. Vieira; Oliveira Júnior*

Relação de fragmentação a 80% de uma britadeira (ou moinho) a trabalhar em circuito fechado... ... ... — *A. Henriques da Conceição*

Escolha electrónica de minérios radioactivos — estudo prévio de três minérios portugueses — *H. Simões Santos*

Do Mundo Técnico.

TÉCNICA 309 — Fevereiro 1961

Os parâmetros dinâmicos do progresso ... ... *Luís Almeida Alves*
Estudo de um gerador electrónico da sub-harmónica F/2 ... ... *J. Borges da Silva*
Informação e entropia ... ... *Gustavo de Castro*
Nota sobre métodos de verificação de bagagens de terra ... ... *V. Penalva Esteves*
Conceitos actualizados sobre a moenda de cimento ... ... *J. Rocha e Melo*

TÉCNICA 310 — Março 1961

Comemorações do cinquentenário do I. S. T. ...
Circuito normalizado dum sistema de comando *António Gouvêa Portela*
Estudo dum gerador electrónico da sub-harmónica F/2 ... ... *J. Borges da Silva*
Cálculo de arcos simétricos com três articulações *J. Brazão Farinha*
Eliminação da interferência do alumínio na dosagem do fluor nas águas ... ... *Carlos Pulido; Maria C. M. de Almeida*
Reacções químicas sucessivas, de segunda ordem *A. J. Gomes da Silva Pinto*

TÉCNICA 311 — Abril 1961

A acção dos Engenheiros e os actuais condicionalismos da Economia Portuguesa ... . *Daniel Barbosa*
Condicionamento de emprego de alta pressão em turbinas ... ... *J. C. Adrião de Sequeira*
Valores de funções termodinâmicas de formação das sesquióxidas de cobalto e níquel. Métodos de determinação propostos ... ... *C. S. Amaro Martins*
Estabelecimento das resistências de betões ... ... *J. M. Oliveira Nunes*
O canal hidrodinâmico do L. N. E. C. ... ... *Nuno Martins*

TÉCNICA 312 — Maio 1961

Posição actual da Indústria Metalomecânica ... *Ferreira Dias*
Obtention de l'acide glutamique a partir do germe de caroubier ... ... *Pierre A. Laurent; C. Beaumont; R. Castelhano*
Homoesteria e entropia na Química ... ... *C. S. Amaro Martins*
Solução de alguns problemas do aproveitamento hidroeléctrico do troço internacional do Rio Douro, na zona reservada a Portugal ... ... *F. Gonçalves Henriques Raul Preza*
O computador fido ... ... *Gustavo de Castro*
Do Mundo Técnico.

TÉCNICA 313 — Junho 1962

Quádricas em coordenadas cartesianas não ortogonais ... ... *F. R. Dias Agudo*
Métodos empregados na defesa contra a erosão costeira... ... ... *J. Pires Castanho*
Considerações acerca do coeficiente sísmico ... *Frederico Machado*
Ensaios modernos de sistemas de banda larga ... *M. J. Lopes da Silva*
Método para estimativa das performances dum veículo automóvel ... ... *C. A. Dias Raposeiro*
Do Mundo Técnico — a evolução até ao aço nervurado tor.

NÚMERO 443 OUTUBRO DE 1977 ANO LII VOLUME XXXIX

C. D. U. 624.04

Método directo de distribuição de momentos para o cálculo de estruturas sujeitas a esforços horizontais

ALFREDO DE PINHO MORGADO
Eng.º Civil (I. S. T.)
B. Sc. Mat. (UNISA)

RESUMO

Neste trabalho deduzem-se fórmulas que aplicadas ao método de distribuição de momentos em consola reduzem este a um ciclo para cada nó da estrutura fazendo desaparecer o inconveniente da lenta convergência.

SUMMARY

The paper works a few formulae to reduce the cantilever moment distribution methode to a cycle for each joint of the structure with sidesway and overcoming the inconvenience of the slow convergence.

INTRODUÇÃO

Em publicação anterior [1] abordou-se o problema das estruturas sujeitas a esforços horizontais nos seguintes casos:

1. Pórticos simétricos
2. Pórticos obedecendo ao princípio dos múltiplos
3. Pórticos assimétricos

Em [1] utilizou-se o método de Grinter — «Cantilever Moment Distribution» [2] que consiste em modificar a rigidez dos pilares para $\frac{K_p}{4}$ e o coeficiente de transmissão de momentos para -1.0. Isto justifica-se visto a rotação numa extremidade duma consola sob a acção dum momento M ser $\frac{ML}{EI}$ e o coeficiente de transmissão ser -1.0 para a convenção usual de sinais, comparada com a rotação $\frac{ML}{4EI}$ numa viga com apoio simples sob a acção do mesmo momento.

Em [2] aplica-se o mesmo processo depois da decomposição da estrutura em pórticos simples simétricos.

Em [3] substituiu-se a estrutura por uma consola equivalente e aplicou-se o método de Grinter a esta estrutura de maneira a obter valores aproximados das rotações e dos ângulos de deslocamento nos nós. A partir daqui com as equações de deformação e por iteração muito rápida obtém-se os valores finais que permitem determinar os momentos na estrutura.

Ora quando a rigidez das vigas é pequena em relação à rigidez dos pilares, caso muito frequente em edifícios de vários pisos, a convergência no Método de Grinter é muito lenta e, por conseguinte, vão-se determinar fórmulas que permitem para cada momento actuante num nó depois de fazer o equilíbrio transmitir momentos finais aos outros nós da estrutura.

MÉTODO DIRECTO PARA NÓS FIXOS

Consideremos uma barra ik, numa estrutura em que os nós não se deslocam

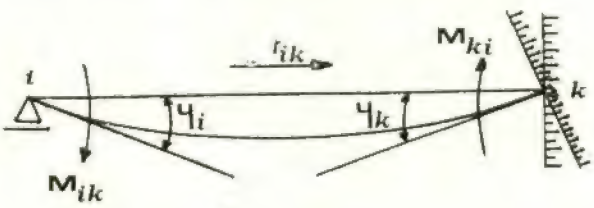


fig. 1

e fazemos actuar na extremidade i o momento M_{ik}.

Escrevendo as equações de deformação

Manuscrito recebido para publicação em 28/1/77.

$$M_{ik} = K_{ik}\ (\varphi_i + \frac{1}{2}\ \varphi_k)$$

$$M_{ki} = K_{ik}\ (\varphi_k + \frac{1}{2}\ \varphi_i) \qquad (1)$$

em que

$$K_{ik} = \frac{4\ E\ I_{ik}}{l_{ik}} \qquad (2)$$

é a rigidez absoluta da barra ik.

Mas $\quad M_{ik} = C_{ik}\ \varphi_i$

$$-M_{ki} = C_{ki}\ \varphi_k \qquad (3)$$

sendo C_{ik} e C_{ki} os factores de rigidez da barra ik respectivamente nos nós i e k.

Substituindo φ_k de (3) em (1)

$$M_{ik} = K_{ik}\ (\varphi_i - \frac{M_{ki}}{2\ C_{ki}})$$

$$M_{ki} = K_{ik}\ (-\frac{M_{ki}}{C_{ki}} + \frac{\varphi_i}{2}) \qquad (4)$$

Eliminando M_{ki} em (4) obtém-se

$$M_{ik} = K_{ik}\ \frac{0{,}75\ K_{ik} + C_{ki}}{K_{ik} + C_{ki}}\ \varphi_i \qquad (5)$$

e então

$$C_{ik} = K_{ik}\ \frac{0{,}75\ K_{ik} + C_{ki}}{K_{ik} + C_{ki}} \qquad (6)$$

Eliminando φ_i em (4) obtém-se

$$M_{ki} = \frac{1}{2}\ \frac{C_{ki}}{0{,}75\ K_{ik} + C_{ki}}\ M_{ik} = r_{ik}\ M_{ik} \qquad (7)$$

e $\quad r_{ik} = \frac{1}{2}\ \frac{C_{ki}}{0{,}75\ K_{ik} + C_{ki}} \qquad (8)$

é o coeficiente de transmissão de momentos.

A fórmula (6) pode-se escrever

$$C_{ik} = v_{ik}\ K_{ik} \qquad (9)$$

sendo v_{ik} o coeficiente de restrição da barra ik na sua extremidade k

$$v_{ik} = \frac{0{,}75 + \frac{C_{ki}}{C_{ki}}}{1 + \frac{K_{ik}}{K_{ik}}} \qquad (10)$$

e varia de 0,75 (extremidade simplesmente apoiada) a 1 (extremidade encastrada).

O coeficiente de transmissão r_{ik} em função de v_{ik} será

$$r_{ik} = 2 - \frac{1{,}5}{v_{ik}} \qquad (11)$$

As fórmulas 6, 7, 8, 9, 10 e 11 permitem resolver uma estrutura com nós não deslocáveis apenas com um ciclo.

MÉTODO DIRECTO PARA NÓS DESLOCÁVEIS

Consideremos agora uma barra AB com um momento M, actuando em B em que os nós se deslocam

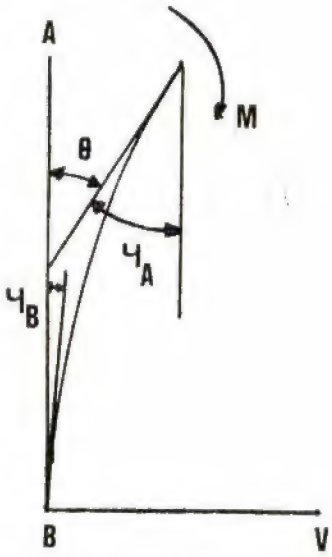


fig. 2

$$M = C_{AB}\ \varphi_A \qquad (12)$$

$$M = C_{BA}\ \varphi_B \qquad (13)$$

$$C_{BA} = C_{BC} + C_{BV} \qquad (14)$$

C_{BV} é o factor de rigidez da viga.

Mas $\quad \varphi_A = \varphi_B + \theta \qquad (15)$

e θ pelo teorema de Mohr é igual a

$$\theta = \frac{M\ l_{AB}}{E\ I_{AB}} = \frac{4M}{K_{AB}} = \frac{4C_{AB}\varphi_A}{K_{AB}} \qquad (16)$$

substituindo este valor em (15)

$$\varphi_A = \frac{C_{AB}\varphi_A}{C_{BA}} + \frac{4C_{AB}\varphi_A}{K_{AB}} \qquad (17)$$

Dividindo por φ_A

$$1 = \frac{C_{AB}}{C_{BA}} + \frac{4\,C_{AB}}{K_{AB}} \qquad (18)$$

Fazendo

$$K'_{AB} = \frac{K_{AB}}{4} \qquad (19)$$

e substituindo em (18) obtém-se

$$C_{AB} = K'_{AB}\,\frac{C_{BA}}{K'_{AB} + C_{BA}} \qquad (20)$$

A fórmula (20) dá o factor de rigidez numa extremidade em função do factor de rigidez da outra extremidade e da rigidez modificada que juntamente com o coeficiente de transmissão — 1 permite resolver o pórtico simétrico pelo método directo.

Vai-se exemplificar primeiro pelo método de Grinter e depois pelo método directo para o pórtico da figura 3.

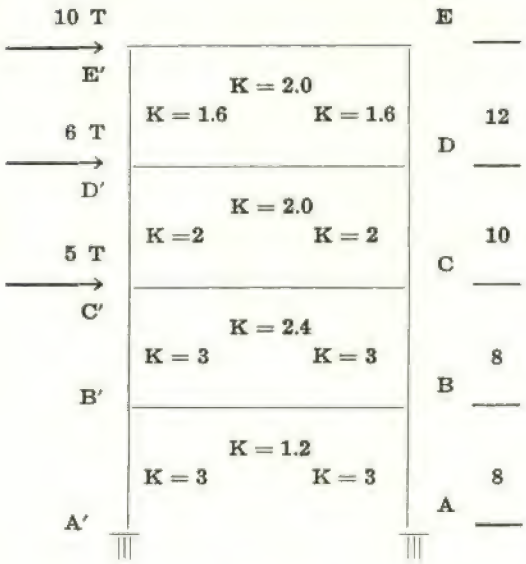


Fig. 3

MÉTODO DE GRINTER

Devido à antimetria a rigidez das vigas é 1,5 Kv. Assim a rigidez modificada encontra-se representada na fig. 4.

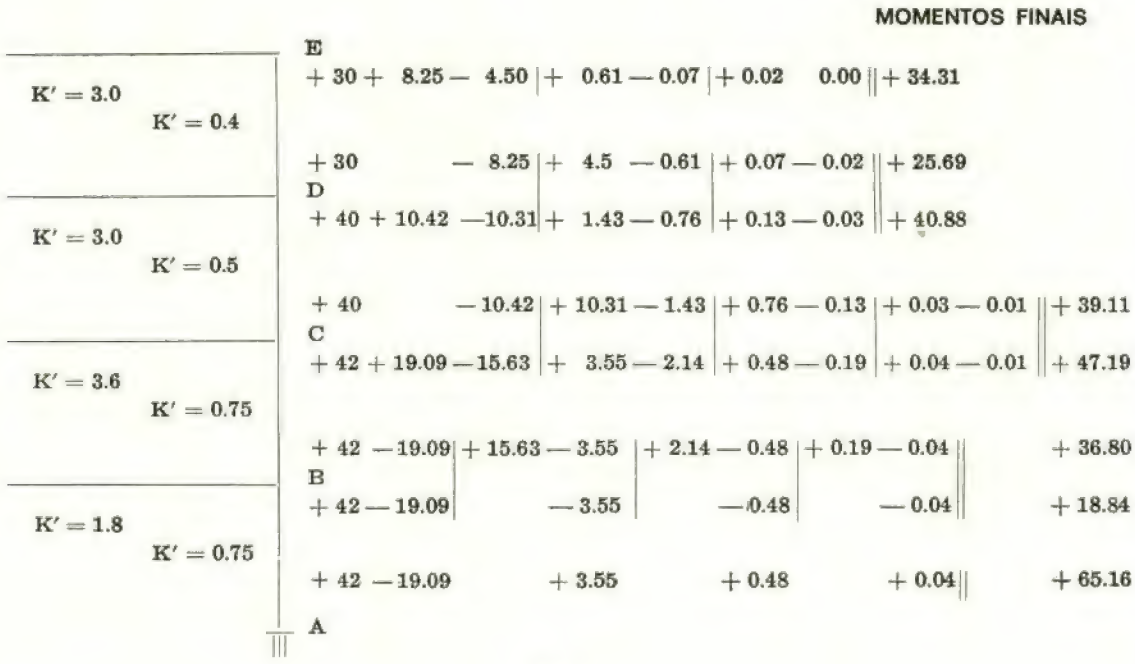


Fig. 4

MÉTODO DIRECTO

Aplicando a fórmula (20) obtém-se

$$C_{BA} = 0{,}75 \frac{\infty}{0{,}75 + \infty} = 0{,}75$$

$$C_{CB} = 0{,}75 \frac{1.8 + 0.75}{0.75 + 2.55} = 0{,}58$$

$$C_{CD} = 0{,}5 \frac{3.6 + 0.58}{0.5 + 4.18} = 0{,}45$$

$$C_{ED} = 0.4 \frac{3.0 + 0.45}{0.4 + 3.45} = 0.36$$

$$C_{DE} = 0.4 \frac{3.0}{0.4 + 3.0} = 0.35$$

$$C_{CD} = 0.5 \frac{3.0 + 0.35}{0.5 + 3.35} = 0.44$$

$$C_{BC} = 0.75 \frac{3.6 + 0.44}{0.75 + 4.04} = 0.63$$

		No D	No' C	No' B	MOMENTOS FINAIS
3.0	E				
0.36	+ 30 — 3.21	+ 6.45	+ 082	+ 0.19	+ 34.25
0.35	+ 3.21	+ 30 — 6.45	— 0.82	— 0.19	+ 25.75
3.0	D				
0.45	— 0.46	+ 40 — 8.29	+ 7.81	+ 1.81	+ 40.87
0.44	+ 0.46	+ 8.29	+ 40 — 7.81	— 1.81	+ 39.13
3.6	C				
0.58	— 0.06	— 1.15	+ 42 — 10.29	+ 16.64	+ 47.14
0.63	+ 0.06	+ 1.15	+ 10.29	+ 42 — 16.64	+ 36.86
1.8	B				
0.75	— 0.02	— 0.34	— 3.03	+ 42 — 19.81	+ 18.80
	+ 0.02	+ 0.34	+ 3.03	+ 42 + 19.81	+ 65.20
	A				

Fig. 5

No' E Equilíbrio $= -\frac{0.36}{3.36} \times 30 = -3.21$

$$M_{DC} = -3.21 \times \frac{0.45}{3.45} = -0.46$$

$$M_{CB} = -0.46 \times \frac{0.58}{4.18} = -0.06$$

$$M_{BA} = -0.06 \times \frac{0.75}{2.55} = -0.02$$

Para os outros nós procede-se da mesma maneira e o desenvolvimento no cálculo apresenta-se na fig. 5.

RYGOL resolve este mesmo exemplo em 2 fases: na 1.ª determina os factores de deslocamento que dão os momentos de encastramento para os deslocamentos reais Δ; na 2.ª faz a distribuição destes momentos utilizando o método directo para o caso de nós não deslocáveis.

REFERÊNCIAS

[1] Cálculo de Estruturas sujeitas a esforços horizontais. **A. de Pinho Morgado.** BOLETIM DA SOCIEDADE DE ESTUDOS DE MOÇAMBIQUE — N.º 120 — 1960.

[2] Joit translation by cantilever moment distribution. **L. E. Grinter and C. H. Tsad.** TRANSACTIONS AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERING, VOL. 118 — 1954.

[3] Structural Analysis by direct moment distribution. **J. Rygol.**

C. D. U. 624.07[012.4]2

Betão normal reforçado com armadura metálica

J. M. MADEIRA COSTA
Engenheiro Civil

7 — «ECONOMIA — RENDIMENTO DUMA SECÇÃO»

7.1 — Generalidades

Face a um problema concreto importa definir a secção mais económica ou seja, em princípio, a que exige a menor quantidade de materiais.

No que se refere à armadura esta está directamente relacionada com a altura da secção que, por sua vez, pode ser condicionada ou por condições construtivas ou por condições de deformabilidade.

7.2 — Altura da secção (h_t)

Dão-se seguidamente algumas normas que permitem determinar a altura total aproximada da secção, de modo a permitir estabelecer rapidamente, em «ante-projecto», este elemento geométrico, em função do vão l. Para mais detalhes ver também capítulo em que se estuda a «Deformação».

Em 7.2.1. e 7.2.2. estudam-se casos correntes em que $\alpha \geqslant 0{,}5$; em 7.2.3 casos em que $\alpha < 0{,}5$.

7.2.1 — Caso de pontes

a) Tramo simples (com $l \leqslant 20$ m)

— lajes

$$\frac{l}{30} \leqslant h_t \leqslant \frac{l}{25} \qquad (7.1)$$

— vigas (com $l \geqslant 20$ m)

$$\frac{l}{20} - 0{,}2 \leqslant h_t \leqslant \frac{l}{20} + 0{,}50 \qquad (7.2)$$

b) Tramos contínuos

— lajes

$$h_t \geqslant \frac{l}{33} \qquad (7.3)$$

— vigas

$$\frac{l}{25} \leqslant h_t \leqslant \frac{l}{20} \qquad (7.4)$$

7.2.2 — Casos correntes

Em casos correntes de estruturas em geral, pode tomar-se genericamente para fins de «ante-projecto»

$$\frac{l}{30} \leqslant h_t \leqslant \frac{l}{20} \qquad (7.5)$$

7.2.3 — Regulamento nacional

As indicações dos Art.º 53 e Art.º 63 do R.E.B.A. fornecem metodologia utilizável para a determinação da altura útil das secções rectangulares e, correspondentemente, de h_t atendendo à deformação.

7.3 — Espessura da alma (b_0)

Seguem-se alguns valores para o caso de $\alpha > 0{,}5$.

O valor médio corrente em pontes é da ordem de:

$$b_0 = 20 \text{ cm} \qquad (7.6)$$

O valor mínimo no centro do vão:

$$b_0 = 9 \text{ cm} + \frac{h_t\,(\text{cm})}{40} \qquad (7.7)$$

Quando se adapta este valor mínimo, haverá que aumentar progressivamente a espessura no último quarto do vão de modo que se obtenha nos apoios uma espessura suficiente para resistir aos esforços de corte e às tensões locais de contacto com as ancoragens de pré-esforço, quando existam.

7.4 — A secção económica. Localização do Problema

Dado o valor do momento máximo M_s e fixado h_t, obtém-se para ordem de grandeza da força total de tracção, o valor:

$$F_{at} = \frac{M_s}{\varepsilon_\alpha \cdot h} \tag{7.8}$$

De (5.3), é:

$$A_b = \eta_b \cdot b\,h \tag{7.9}$$

e, de (5.30)

$$\varepsilon_\alpha = (\varepsilon_\alpha) - (\varphi \cdot \varepsilon_i)$$

De (5.11), é:

$$F_{at} = \frac{1}{2} \cdot \sigma'_{bs} \cdot \alpha \cdot \theta_{o\alpha} \cdot b\,h$$

ou

$$\frac{1}{2} \cdot \sigma'_{bs} \cdot \alpha \cdot \theta_{o\alpha} \cdot \frac{A_b}{\eta_b} = \frac{M_s}{\varepsilon_\alpha \cdot h}$$

e

$$\sigma'_{bs} \cdot A_b = \frac{\eta_b}{0{,}5 \cdot \alpha \cdot \theta_{o\alpha} \cdot \varepsilon_\alpha} \times \frac{M_s}{h}$$

donde

$$\boxed{\sigma'_{bs} \cdot A_b = \frac{\eta_b}{\eta_{1\alpha b}} \cdot \frac{M_s}{h}} \tag{7.10}$$

sendo, conforme (5.40)

$$\eta_{1\alpha b} = 0{,}5 \cdot \alpha \cdot \theta_{o\alpha} \cdot \varepsilon_\alpha \tag{7.11}$$

Assim do ponto de vista da armadura,
— ...a economia depende directamente de

$$\frac{M_s}{\varepsilon_\alpha \cdot h}$$

Do ponto de vista do betão,
— ...a economia depende da grandeza

$$\boxed{\delta_r = \frac{\eta_b}{\eta_{1\alpha b}}} \; ; \tag{7.12}$$

e de σ'_{bs}

7.5 — Análise referente ao betão

Quanto menor for δ_r e maior for σ'_{bs} menor será a área necessária de betão A_b e, portanto, mais económica do ponto de vista do betão.

A δ_r chamaremos **«coeficiente de rendimento»** da secção.

Por outro lado (7.10) permite obter b.

$$\boxed{b = \left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right) \times \frac{M_s}{\sigma'_{bs} \cdot h^2}} \tag{7.13}$$

A $\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right)$ chamaremos **«coeficiente de flexão»** da secção.

Com efeito numa secção rectangular, de material homogéneo, este coeficiente tem o valor 6.

$$\sigma'_{bs} = \frac{M_s}{I/v} = 6\,\frac{M_s}{b\,h^2}$$

donde

$$b = 6 \cdot \frac{M_s}{\sigma'_{bs} \cdot h^2}$$

De (7.10) pode obter-se, A_b, mais explicitamente:

$$\boxed{A_b = \frac{\delta_r}{\sigma'_{bs}} \cdot \frac{M_s}{h}} \tag{7.14}$$

7.5.1 — Coeficientes de "rendimento" da secção δ_r e de "flexão" $\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right)$

Determinam-se seguidamente vários valores de δ_r função da geometria da secção, n_0 e m_0, da posição da linha neutra α e de diferentes valores do coeficiente $(\varphi \cdot \varepsilon_i)$.

É:

$$\delta_r = \frac{\eta_b}{\eta_{1\alpha b}} = \eta_b \times \frac{1}{0{,}5 \times \alpha \times \theta_{o\alpha}\left[(\varepsilon_\alpha) - (\varphi \cdot \varepsilon_i)\right]} \tag{7.15}$$

para

η_b — ver (5.3);

(ε_α) — ver (5.28) e (5.29);

$(\varphi \cdot \varepsilon_i)$ — ver (5.23) e (5.30);

$\theta_{o\alpha}$ — ver (5.12);

α — posição de l. n.

Quanto menor for «δ_r» mais económica será a secção do ponto de vista do betão.

Os quadros 7.1 e 7.2 dão valores de $\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right)$ e de (δ_r), respectivamente para $(\varphi \cdot \varepsilon_i) = 0$ e $\varepsilon_\alpha = (\varepsilon_\alpha)$, e $(\varphi \cdot \varepsilon_i) = 0{,}10$ e $\varepsilon_\alpha = (\varepsilon_\alpha) - 0{,}10$

m = 15

$\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right)$ e "δ_r"

$\left\{ \begin{array}{l} (\varphi \cdot \varepsilon_i) = 0 \\ \varepsilon_\alpha = (\varepsilon_\alpha^{\,i}) \end{array} \right.$

α \ η_b	(Sec. rect.) ▮ ①	Sec. T													
		$m_0 = 0{,}50$ ②				$m_0 = 0{,}25$ ④				$m_0 = 0{,}167$ ⑥				$m_0 = 0{,}0$ ∞	
		n_0 0,10	0,20	0,30	0,40	n_0 0,10	0,20	0,30	0,40	n_0 0,10	0,20	0,30	0,40	n_0 0,10	0,30
	1,07	0,585	0,635	0,685	0,735	0,343	0,418	0,493	0,568	0,262	0,345	0,429	0,512	0,10	0,30
0,2	10,72 11,72	12,09 7,07	10,75 6,83	10,72 7,34	10,72 7,88	13,00 4,46	10,75 4,49	10,72 5,28	10,72 6,09	13,32 3,49	10,75 3,71	10,72 4,60	10,72 5,49	13,89 1,39	10,72 3,2
0,3	7,41 7,93	9,29 5,43	7,79 4,95	7,41 5,07	7,41 5,44	10,70 3,67	7,96 3,32	7,41 3,65	7,41 4,21	11,26 2,95	7,96 2,75	7,41 3,18	7,41 3,79	12,53 1,25	7,41 2,22
0,4	5,77 6,17	7,80 4,56	6,38 4,05	5,91 4,05	5,77 4,24	9,37 3,21	6,86 2,87	5,98 2,95	5,77 3,28	10,14 2,66	6,86 2,37	6,01 2,58	5,77 2,95	11,96 1,20	6,06 1,82
0,5	4,80 5,14	6,84 4,00	5,67 3,60	5,11 3,50	4,87 3,58	8,64 2,96	6,23 2,60	5,28 2,60	4,90 2,78	9,35 2,45	6,42 2,22	5,34 2,29	4,91 2,51	11,70 1,17	5,47 1,64
0,6	4,17 4,46	6,10 3,57	5,09 3,23	4,60 3,15	4,33 3,18	7,98 2,74	5,72 2,39	4,85 2,39	4,41 2,51	8,92 2,34	6,01 2,07	4,93 2,12	4,44 2,27	11,32 1,13	5,13 1,54
0,8	3,41 3,65	5,24 3,06	4,40 2,79	3,97 2,72	3,70 2,72	7,09 2,43	5,19 2,17	4,33 2,14	3,87 2,20	8,17 2,14	5,55 1,91	4,46 1,91	3,93 2,01	11,44 1,14	4,76 1,43
1,07	2,91 3,11	4,60 2,69	3,93 2,50	3,54 2,42	3,28 2,41	6,56 2,25	4,85 2,03	3,97 1,96	3,51 1,99	7,39 1,94	5,13 1,77	4,13 1,77	3,59 1,84	10,93 1,09	4,52 1,36

$\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right)$ — em cima; "δ_r" — em baixo.

Os valores ○ são os inversos de m_0

QUADRO 7.1

m = 15

$\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right)$; "δ_r"

$(\varphi \cdot \varepsilon_i) = 0{,}10$
$\varepsilon_\alpha = (\varepsilon_\alpha) - 0{,}10$

α \ η_b	Sec. rect. I ①	Sec. T $m_0 = 0{,}50$ ②				$m_0 = 0{,}25$ ④				$m_0 = 0{,}167$ ⑥			
		n_0 0,10	0,20	0,30	0,40	n_0 0,10	0,20	0,30	0,40	n_0 0,10	0,20	0,30	0,40
	1,07	0,585	0,635	0,685	0,735	0,343	0,418	0,493	0,568	0,262	0,345	0,429	0,512
0,2	12,00 12,85	13,53 7,91	12,05 7,65	12,00 8,22	12,00 8,82	14,52 4,98	12,05 5,04	12,00 5,92	12,00 6,82	14,89 3,90	12,05 4,16	12,00 5,15	12,00 6,15
0,3	8,33 8,92	10,42 6,10	8,76 5,56	8,33 5,71	8,33 6,13	11,99 4,11	8,95 3,74	8,33 4,11	8,33 4,73	12,60 3,30	9,04 3,12	8,33 3,58	8,33 4,27
0,4	6,52 6,98	8,79 5,14	7,19 4,57	6,68 4,57	6,52 4,79	10,51 3,61	7,72 3,23	6,75 3,33	6,52 3,70	11,37 2,98	7,91 2,73	6,78 2,91	6,52 3,34
0,5	5,46 5,84	7,74 4,53	6,42 4,08	5,79 3,97	5,52 4,06	9,74 3,34	7,02 2,94	5,97 2,94	5,56 3,16	10,51 2,75	7,23 2,50	6,04 2,59	5,57 2,85
0,6	4,76 5,10	6,93 4,05	5,78 3,67	5,23 3,58	4,93 3,62	9,02 3,09	6,46 2,70	5,50 2,71	5,02 2,85	10,05 2,63	6,78 2,34	5,59 2,40	5,05 2,59
0,8	3,95 4,23	6,02 3,52	5,03 3,20	4,55 3,12	4,26 3,13	8,07 2,77	5,90 2,47	4,94 2,43	4,43 2,52	9,26 2,43	6,29 2,17	5,07 2,18	4,49 2,30
1,07	3,44 3,68	5,37 3,14	4,57 2,90	4,11 2,82	3,82 2,81	7,57 2,60	5,58 2,33	4,56 2,25	4,05 2,30	8,47 2,22	5,85 2,02	4,73 2,03	4,12 2,11

$(\frac{\delta_r}{\eta_b})$ — em cima; "δ_r" — em baixo.

Os valores O são os inversos de m_0

QUADRO 7.2

Verifica-se que δ_r aumenta com a diminuição de α e com o aumento de $(\varphi \cdot \varepsilon_1)$; é maior para as secções rectangulares que para secções T.

Valores de n_0 pequenos não são normalmente os mais económicos.

Para n_0 da ordem de 0,20 a 0,30 obtém-se valores de δ_r pequenos e perto dos mínimos.

Para cada α os coeficientes $\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right)$ não têm variação sensível para $m_0 < 0{,}30$ e $n_0 \geqslant 0{,}20$.

* * *

No Quadro 7.3 apresenta-se uma síntese do exposto, indicando ordens de grandeza de $\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right)$ de modo a determinar aproximadamente valores de b que conduzem à secção económica do ponto de vista de betão.

«SECÇÃO ECONÓMICA» — Definição da largura b —

(δ_r/η_b) $m = 15$

	α	Secção I		Secção T	
		$(\varphi.\varepsilon_1)=0$	$(\varphi.\varepsilon_1)=0{,}10$	$(\varphi.\varepsilon_1)=0$	$(\varphi.\varepsilon_1)=0{,}10$
B.A.	0,20	10,7	12,0	10,7	12,0
	0,30	7,4	8,3	7,6	8,8
	0,40	5,8	6,5	6,2	6,8
	0,50	4,8	5,5	5,3	6,0
B.A./P.	0,60	4,2	4,8	4,9	5,5
	0,80	3,4	4,0	4,4	5,0
B.P.	1,07	3,0	3,5	4,0	4,6

Os valores deste quadro conduzem à definição aproximada da largura b da secção mais económica do ponto de vista de betão (A_b — mínimo).

QUADRO 7.3

* * *

Para pré-dimensionar uma secção do ponto de vista do betão procede-se da seguinte forma:

— estima-se M_s; fixa-se h_t e σ'_{bs};

— Pelo Quadro 7.3 retira-se (δ_r/η_b) de de (7.13) obtém-se a largura b;

— b_0 será o menor possível condicionado por condições construtivas e pelo esforço transverso;

— para h_0 tomar-se-á um valor da ordem de 0,20 a 0,30 de h.

7.6 — Valores de «μ» económicos

A finalizar este capítulo e como elemento informativo, apresentam-se seguidamente ordens de grandeza dos valores de μ correspondentes a secções económicas do ponto de vista do betão (A_b — mínimo).

É, como se sabe, $\mu = \frac{M_s}{b \cdot h^2}$

de (7.13), obtém-se:

$$\mu = \frac{\sigma'_{bs}}{\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right)} \qquad (7.16)$$

Assim, tomando para (δ_r/η_b) os valores médios do Quadro 7.3, obtém-se os valores de μ do Quadro 7.4. Note-se que, por questões de segurança à rotura, valores de μ maiores que os indicados para $\alpha = 0{,}80$ serão dificilmente atingíveis.

μ econ. σ'_{bs} — kgf. cm^{-2}

Secção		I								T							
	α \ σ'_{bs}	60	70	85	115	130	150	170	200	60	70	85	115	130	150	170	200
B. A.	0,20	6	—	—	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—	—	—
	0,30	8	9	11	—	—	—	—	—	8	9	11	—	—	—	—	—
	0,40	10	12	15	19	22	—	—	—	10	11	14	18	21	—	—	—
	0,50	13	15	18	24	27	31	35	41	11	13	16	22	25	28	32	—
B. A./P.	0,60	14	16	19	26	30	34	39	45	12	14	17	23	26	29	33	38
	0,80	17	19	24	32	36	42	47	56	13	15	18	25	28	33	37	43
B. P.	1,07	18	21	26	35	39	45	52	61	14	16	20	27	30	35	40	46

σ'_{bs} — tensão admissível num dimensionamento por «tensões de segurança».

$$\mu = \frac{M_s}{b \cdot h^2}$$

QUADRO 7.4

7.7 — Relação (l/h_t) económica

O estabelecimento das relações l/h_t mais correntes e para as quais já se indicaram alguns critérios em 7.2.1, 7.2.2 e 7.2.3 importa ser visto em mais detalhe.

Esta relação está dependente dos condicionalismos próprios da obra em estudo, da deformabilidade aceitável para a obra, da procura de soluções económicas e da largura $\underline{b}$ ou $\underline{b}_0$ necessárias. Estes últimos elementos ($\underline{b}$ ou b_0) estão por sua vez relacionados com problemas de esforço transverso e de deformabilidade transversal da peça em estudo.

É fácil demonstrar que tanto a quantidade de armadura $\underline{A}_a$ como a área de betão $\underline{A}_b$ necessárias, são tanto menores quanto menor for a relação (l/h_t).

Com efeito:

$$A_a = \frac{M_t}{\varepsilon_\alpha \cdot h} = \frac{1}{\varepsilon_\alpha} \cdot \frac{q}{\varphi_m} \cdot \left(\frac{l}{h_t}\right) \cdot \frac{h_t}{h} \cdot l \qquad (7.17)$$

e

$$A_b = \eta_b \cdot b\,h = \frac{\delta_r}{\sigma'_{bs}} \cdot \frac{M_t}{h} =$$

$$= \frac{\delta_r}{\sigma'_{bs}} \cdot \frac{q}{\varphi_m} \cdot \left(\frac{l}{h_t}\right) \cdot \frac{h_t}{h} \cdot l \qquad (7.18)$$

Simplesmente, de (7.13) verifica-se que aumentando h_t ou h haverá que reduzir $\underline{b}$ para se obter a a secção económica e este valor $\underline{b}$ não pode descer abaixo de certos valores por questões de execução, de esforço transverso e de deformabilidade transversal, como se referiu.

Assim, fazendo;

$$\boxed{b = \frac{l}{k_b}} \qquad (7.19)$$

obtém-se, de 7.13:

$$\frac{l}{k_b} = \left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right) \cdot \frac{M_t}{\sigma'_{bs} \cdot h^2}$$

O momento total $\underline{M}_t$ pode obter-se, como é sabido, a partir de expressões do tipo:

$$M_t = \frac{q \cdot l^2}{\varphi_m} \qquad (7.20)$$

donde:

$$\frac{l}{h_t} = \left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right) \cdot \frac{q \cdot l^2}{\varphi_m \cdot \sigma'_{bs} \cdot h_t^2} \cdot \left(\frac{h_t}{h}\right)^2$$

e para, $h_t/h = 1{,}07$

$$\boxed{\left(\frac{l}{h_t}\right) = 0{,}935 \sqrt{\frac{\varphi_m}{k_b} \cdot \frac{\sigma'_{bs}}{(\delta_r / \eta_b)} \cdot \frac{l}{q}}} \qquad (7.21)$$

l — vão da viga;
q — carga total por unidade de comprimento;
h_t — altura total da viga.

A expressão (7.21) é geral e pode ser aplicada a qualquer caso concreto.

Os valores $\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right)$ são tirados do quadro 7.1 ou do quadro 7.2.

* * *

Alguns regulamentos relacionam a tensão admissível σ'_{bs} com o valor de $\underline{k}_b$.

Estão neste caso as "normas inglesas".

As "normas americanas" indicam que, para vigas isoladas, $\underline{k}_b$ deve ser menor ou igual a 32.

Pode dizer-se que, para vigas isoladas que sejam solidarizadas entre si, é corrente tomar-se valores de $\underline{k}_b$ da ordem de 40 ($k_b = 40$).

Sobre tudo em vigas pré-fabricadas, atendendo ao seu transporte e montagem, não convirá utilizar valores de $\underline{k}_b$ apreciavelmente maiores que o valor indicado. Ver também 7.11.

* * *

Em *vigas isostáticas* é, como é bem sabido, $\varphi_m = 8$ e a expressão (7.21), para $k_b = 40$, pode então escrever-se:

$$\boxed{\left(\frac{l}{h_t}\right) = 0{,}418 \sqrt{\frac{\sigma'_{bs}}{(\delta_r / \eta_b)} \cdot \frac{l}{q}}} \qquad (7.22)$$

* * *

No Quadro 7.5 e no Quadro 7.6 apresentam-se ordens de grandeza da relação $\left(\frac{l}{h_t}\right)$

— O Quadro 7.5 refere-se a secções de betão armado corrente (B. A.) tendo-se tomado:

$\alpha = 0{,}35/0{,}40$; $\sigma'_{bs} = 80$ kgf. cm^{-2}

para secções ▮ — $\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right) = 6{,}5$;

para secções T — $\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right) = 7{,}1$.

— O Quadro 7.6 refere-se a secção de betão armado/pré-esforçado e betão pré-esforçado, (B.A./P.) e (B. P.), tendo-se tomado:

$$\alpha = 0{,}80 \ ; \ \sigma'_{bs} = 120 \text{ kgf. cm}^{-2}$$

para secção ▮ — $\left(\frac{\delta_r}{r_b}\right) = 3{,}4$

para secção T — $\left(\frac{\delta_r}{r_b}\right) = 4{,}5$

B. A.

$\alpha = 0{,}35/0.40$

$\sigma'_{bs} = 80$ kgf.cm^{-2}

$\frac{l}{h_t}$ $\frac{l}{b} = 40$

l \ q	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
10	15 / 14	10 / 10	8 / 8	7 / 7	7 / 6
20	21 / 19	15 / 14	12 / 11	10 / 10	9 / 9
30		18 / 17	15 / 14	13 / 12	11 / 11
40			17 / 16	15 / 14	13 / 13
50				16 / 15	15 / 14

QUADRO 7.5

▮ T

l — m

q — tf/m

B. A./P.

$\alpha = 0{,}80$

B. A.

$\sigma'_{bs} = 120$ kgf. cm^{-2}

$\frac{l}{h_t}$ $\frac{l}{b} = 40$

l \ q	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
10	25 / 22	18 / 15	14 / 12	12 / 11	11 / 10
20	35 / 30	25 / 22	20 / 18	18 / 15	16 / 14
30		30 / 26	25 / 22	21 / 19	19 / 17
40			29 / 25	25 / 22	22 / 19
50				28 / 24	25 / 22

QUADRO 7.6

▮ T

l — m

q — tf/m

Como se verifica os valores do Quadro 7.6 estão concordantes com os valores indicados em 7.2.1 e 7.2.2.

Note-se que se tomou $\frac{l}{b} = 40$; para outros valores desta relação obter-se-iam valores um pouco diferentes.

* * *

Os valores obtidos no Quadro 7.5 e no Quadro 7.6 serão comparados com os valores da mesma relação $\left(\frac{l}{h_t}\right)$ impostos por questões de deformação e que serão estudados em capítulo próprio.

7.8 — Considerações quanto à rotura

As secções devem ser também verificadas à rotura. Para $\alpha > 0{,}8$ é este dimensionamento que, em geral, condiciona a secção.

Este estudo será feito em capítulo próprio.

Refere-se, no entanto, que para anteprojectos se podem, em geral manter os critérios apontados neste Capítulo 7 desde que, no que se refere à secção de betão, se tomem valores não inferiores aos indicados para $\alpha = 0{,}8$.

Com este critério fica normalmente, garantida a segurança à rotura.

7.9 — Análise referente à armadura

De (7.8) verifica-se que a quantidade de armadura está directamente relacionada com

$$F_{at} = \frac{M_s}{\varepsilon_\alpha \cdot h} \qquad (7.23)$$

sendo $\varepsilon_\alpha = (\varepsilon_\alpha) - (\varphi \cdot \varepsilon_i)$

M_s — é o momento actuante;

h — é a altura útil como definida na Fig. 5.1.

Como valores aproximados de "ε_α" indicam-se os do Quadro 7.7 na secção mais esforçada.

"ε_α"

Secção \ α	B. A.	B. A./P.	B. P.
	0.2 a 0.5	0.6 a 0.8	1.07
▮	0,83	0,75	0,60
T	0,86	0,80	0,74

QUADRO 7.7

Este quadro e a expressão (7.23) permitem o predimensionamento imediato da força de tracção a mobilizar na armadura.

7.10 — Exemplos

7.10.1 — Dimensionar para fins de ante-projecto a secção central de uma viga de betão armado (B. A) com um vão l=20 m, submetida a uma carga uniformemente distribuida q=3,0.tf/m

Admite-se $\sigma'_{bs}=130$ kgf cm^{-2} e $\sigma_a=2400$ kgf. cm^{-2}.

De (7.13) e (7.14), obtém-se:

$$b = \left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right) \times \frac{M_s}{\sigma'_{bs}.h^2}$$

e

$$Ab = \frac{\delta_r}{\sigma'_{bs}} \times \frac{M_s}{h}$$

É:

$$M_s = \frac{3 \times 20^2}{8} = 150 \text{ tf.m}$$

Toma-se:

$$h_t = \frac{l}{20} = 20/20 = 1.0 \text{ m} \quad \text{e} \quad h = 96 \text{ cm}$$

Em B. A. é $(\varphi . \varepsilon_i)=0$ e $\varepsilon_\alpha=(\varepsilon_\alpha)$

a) — Secção ▮

Do Quadro 7.3 toma-se $\left(\frac{\delta_r}{\eta_b}\right) = 5{,}8$;

será:

$$b = 5{,}8 \times \frac{150 \times 10^5}{130 \times 96^2} = 73 \text{ cm}$$

será:

$$A_b = b . h_t = 73 \times 100 = 7300 \text{ cm}^2$$

Do Quadro 7.1 é "δ_r" = 6,10, obtendo-se:

$$A_b = \frac{6{,}10}{130} \times \frac{150 \times 10^5}{96} = 7330 \text{ cm}^2$$

Este valor é muito semelhante ao valor real tomado $A_b = 7300$ cm².

O valor de μ será:

$$\mu = \frac{M_s}{b . h^2} = \frac{150 \times 10^5}{73 \times 96^2} = 22{,}3$$

valor que se integra nas ordens de grandeza dos valores indicados no Quadro 7.4 para α entre 0,40 e 0,50.

— No que se refere à armadura, obtém-se, Quadro 7.7:

$$F_{at} = \frac{M_s}{\varepsilon_\alpha . h} = \frac{150 \times 10^5}{0{,}83 \times 96} = 188.250 \text{ kg f}$$

$$A_a = 188.250/2.400 = 78{,}0 \text{ cm}^2$$

* * *

— Num dimensionamento directo par tensões de segurança obtinha-se:

$$A_a = 1{,}10\ \% \times 73 \times 96 = 77{,}1 \text{ cm}^2$$

* * *

— Num dimensionamento à rotura (ver tabelas do Autor), obtinha-se:

$$\mu^* = 1{,}5 \times 22{,}3 = 33{,}5$$

e

$$A_a = 1{,}08\ \% \times 73 \times 96 = 75{,}7 \text{ cm}^2$$

b) — Secção T

Do Quadro 7.3 e de (7.13)), tem-se, para $\alpha=0{,}40$:

$$b = 6{,}2 \times \frac{150 \times 10^5}{130 \times 96^2} = 78 \text{ cm}$$

Fazendo $h_0 = 0{,}20 \times 96 = \sim 20$ cm

e $b_0 = 0{,}25 \times 78 = 20$ cm

$$A_b = 3160 \text{ cm}^2$$

Do Quadro 7.1, obtinha-se:

$$A_b = \frac{2{,}70 \times 150 \times 10^5}{130 \times 96} = 3245 \text{ cm}^2$$

— Para armadura, do Quadro 7.7, tinha-se

$$F_{at} = \frac{150 \times 10^5}{0{,}86 \times 96} = 181.686 \text{ kg f}$$

e

$$A_a = Fat : 2400 = 75{,}7 \text{ cm}^2$$

* * *

— Num dimensionamento directo por tensões de segurança obtinha-se:

$$\frac{\mu}{\eta_a} = \frac{150 \times 10^5}{78 \times 96^2} \times \frac{1}{2400} = \frac{20{,}87}{2400} = 0{,}0087$$

$$\omega_a = 0{,}0087 \times \frac{1}{0{,}87} = 0{,}01$$

$$A_a = 0{,}01 \times 78 \times 96 = 74{,}9 \text{ cm}^2$$

* * *

— Num dimensionamento à rotura (tabelas do Autor), obtinha-se:

$$\eta_1 = \frac{1{,}5 \times 150 \times 10^5}{78 \times 96^2 \times 200} = 0{,}157$$

$$A_\alpha = \frac{1{,}5 \times 150 \times 10^5}{0{,}89 \times 96 \times 3.600} = 73{,}2 \text{ cm}^2$$

7.10.2 — O mesmo problema em betão pré-esforçado total ($\sigma_{bi}=0$), B. P.

$$b = 5{,}0 \times \frac{150 \times 10^5}{130 \times 96^2} = 62{,}6 \text{ cm}$$

Toma-se $b=64$ cm; $b_0=20$ cm; $h_0=20$ cm

$$F_{at} = \frac{150 \times 10^5}{0{,}74 \times 96} = 211.150 \text{ kg f}$$

$$Fat \simeq 211 \text{ tf}$$

Adoptando a secção indicada na Fig. 7.1, tem-se:

$$A_b = 2.880 \text{ cm}^2$$
$$I = 2{,}67 \times 10^6 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_i^s = -\frac{211.000}{2\,880} \pm \frac{56 \times 211.000}{2{,}67 \times 10^6} \times \begin{cases} 37{,}8 - \\ 62{,}2 + \end{cases}$$

$$\pm \frac{150 \times 10^5}{2{,}67 \times 10^6} \times \begin{cases} 37{,}8 \\ 62{,}2 \end{cases} = \begin{cases} \sigma_s = -118{,}3 \text{ kg f . cm}^{-2} \\ \sigma_i = +0{,}9 \quad » \end{cases}$$

Os valores obtidos são concordantes com os valores impostos, atendendo a que se tomaram os valores correspondentes a $\alpha=0{,}8$ e não $\alpha=1{,}07$ por razões de segurança à rotura.

A armadura necessária, admitindo $\sigma_{p\infty}=10\,000$ kgf. cm-², será da ordem de:

$$A_a = 211.000/10.000 = 21{,}1 \text{ cm}^2$$

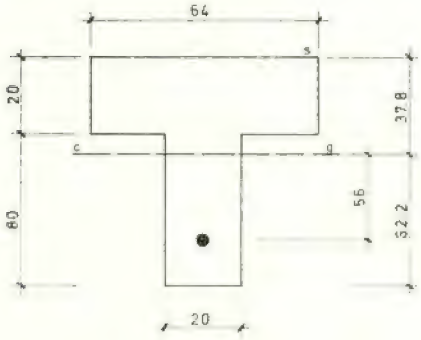


Fig 7.1

7.10.3 — O mesmo problema em betão armado pré-esforçado B. A./P.

Tomando $\sigma_a=1000$ kgf. cm-² e kap=1,0, e usando a geometria da Fig. 7.1, obtém-se:

$$[(10.000 + 1.000) + 1.000]\,\omega_a = \frac{\mu}{(\varepsilon_\alpha)}$$

$$\omega_a = \omega_p = 0{,}287\ \%\ \text{e}$$
$$A_a = A_p = 16{,}9 \text{ cm}^2$$

* * *

Para comparação apresentam-se resumidamente os valores obtidos:

—de 7.10.1.a)	— B. A.	(Sec. ▮)—7.300 cm²;	76 cm²
—de 7.10.1.b)	— B. A.	(Sec. T)—3.200 cm²;	74 cm²
—de 7.10.2	— B. P.	(Sec. T)—2.880 cm²;	22 cm²
—de 7.10.3)	— B. A./P.	(Sec. T)—2.880 cm²;	17 + 17 cm²

7.10.4 — Determinar a ordem de grandeza do maior vão possível de uma viga rectangular de betão armado simplesmente apoiada, submetida ao seu peso próprio e a uma sobrecarga equivalente a 50 % do seu peso próprio.

$\sigma'_{bs}=80$ kgf. cm-²

Tomando

$$A_b = 5{,}8 \times \frac{1}{\sigma'_{bs}} \times \frac{M_s}{h}$$

$$M_s = 1{,}5 \times \frac{2\,500 \times A_b}{8 \times 100 \times 10000} \times \frac{1}{h_t} \times l \times h_t$$

$$A_b = \frac{5{,}8}{80} \times 1{,}5 \times \frac{2\,500 \times A_b}{800 \times 10000} \times 15 \times l \times 1{,}07$$

$$\boxed{l = \sim 18 \text{ m}}$$

7.10.5 — Resolver o mesmo problema para uma viga T em betão pré-esforçado total ($\sigma_{bi}=0$)

$\sigma'_{bs}=140$ kgf. cm-²

Tomando

$$A_b = 2{,}10 \times \frac{1}{\sigma'_{bs}} \times \frac{M_s}{h}$$

$$M_s = 1{,}5 \times \frac{2\,500 \times A_b}{100 \times 8 \times 10.000} \times \frac{1}{h_t} \times l \times h_t$$

$$A_b = \frac{2{,}10}{140} \times 1{,}4 \times \frac{2.500 \times A_h}{8 \times 1000 \times 10.000} \times 20 \times l \times 1{,}07$$

$$\boxed{l = 67 \text{ m}}$$

Os valores obtidos de $\underline{l}$ são valores teóricos. Para uma secção rectangular obtinham-se valores de $\underline{l}$ da ordem de 30 m.

7.11 — Considerações Genéricas sobre "$\underline{k_b}$"

Nos exemplos anteriores considerou-se $k_b = 40$ como indicação de ordens de grandeza e de valores médios e não, naturalmente, como valor único.

Com efeito, em certos casos, como por exemplo vigas de cobertura, podem atingir-se valores de k_b da ordem de 70 ou mesmo maiores.

Noutros casos, como por exemplo em pontes, pode interessar aumentar a largura $\underline{b}$ para constituir, no todo ou em parte, o próprio tabuleiro. Nestes casos $\underline{k_b}$ toma, por vezes, valores da ordem de 20, ou menores.

Para valores de $k_b = 70$ os valores da relação $\frac{l}{h_t}$ serão obtidos dos indicados nos quadros dividindo aqueles valores por 1,32; para $k_b = 23$ bastará multiplicar aqueles valores por 1,32 para obter os correspondentes valores de $\frac{l}{h_t}$.

Resumo dos Artigos publicados na «Técnica» n.º 443

Ano LII — Outubro 1977

C. D. U. 378.962.4:550.8[624/628]

L. AIRES-BARROS
J. F. PINHARANDA

O ENSINO DA GEOLOGIA NO I. S. T. PARA O CURSO DE ENGENHARIA CIVIL. EVOLUÇÃO E VISÃO PROSPECTIVA

Técnica N.º 443 — LII — 10-1977, p. 1 a 6

Os autores apresentam um resumo da evolução do ensino da Geologia para estudantes do Curso de Engenharia Civil do I. S. T. nos últimos 20 anos.

Em seguida é apresentada uma visão prospectiva do que deverá ser esse ensino e do equilíbrio a haver entre os conhecimentos dos fundamentos da Geologia, das suas metodologias e das suas aplicações a problemas concretos da Engenharia Civil.

As principais conclusões são apresentadas sob a forma de um diagrama onde se doseia a influência e a sobreposição que há entre os conhecimentos importantes nas diferentes fases da resolução de problemas reais da Engenharia Civil fortemente dependentes da Geologia.

São feitas, ainda, algumas considerações sobre os tipos de exames que os alunos realizam.

C. D. U. 627.82:627.89

J. LAGINHA SERAFIM

DESASTRES DE BARRAGENS EM 1976. O CASO DE TETON

Técnica N.º 443 — LII — 10-1977, p. 7 a 17

Este trabalho trata da rotura de barragens durante o ano de 1976 e está na sequência do trabalho apresentado pelo autor sobre o mesmo assunto no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em 1960. Apresentam-se descrições de roturas em barragens relativamente pequenas (mais de 15 m de altura) na Carolina do Norte, no Paquistão e na Noruega, mas o trabalho trata essencialmente da rotura da barragem de Teton nos Estados Unidos, em Junho de 1976. Esta é a barragem mais alta (103 m) que até hoje rompeu. Apresenta-se a sequência dos acontecimentos durante a rotura, atribuindo esta ao facto da rocha ser muito permeável, à ineficiência das cortinas de injecção, e ainda ao facto de existir uma trincheira corta-águas, na qual se produziu um efeito arco que possivelmente permitiu fracturação hidráulica. A erosão interna e subsequente erosão no aterro perto da rocha foram, sem dúvida, as causas principais.

C. D. U. 621.389:537.311

H. J. S. ABREU SANTOS

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DAS ESTATISTICAS DE MAXWELL-BOLTZMANN, BOSE-EINSTEIN E FERMI-DIRAC, BASEADA NUM GERADOR DE NÚMEROS PSEUDOALEATÓRIOS [1]

Técnica N.º 443 — LII — 10-1977, p. 19 a 38

Faz-se um estudo comparativo da obtenção por simulação numérica, no domínio das pequenas populações de partículas, das funções de distribuição correspondentes às estatísticas de Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein e Fermi-Dirac. É uma aplicação dos métodos de Monte-Carlo à simulação de um processo não determinístico, o das colisões aleatórias de uma população de partículas, utilizando um gerador de números pseudoaleatórios. Estuda-se a obtenção do equilíbrio termodinâmico para populações correspondentes a uma só estatística, do tipo da lei de radiação de Planck, e também a interacção entre partículas de estatísticas diferentes, como electrões e fonões.

Este trabalho é um prolongamento de [1].

C. D. U. 552.1.067.1

A. F. FERREIRA PINTO
A. F. BARROS

OCORRÊNCIA DE SCHEELITE EM ROCHAS CALCO-SILICATADAS DA REGIÃO DE VILA FRANCA DAS NAVES

Técnica N.º 443 — LII — 10-1977, p. 39 a 45

A presente nota refere a ocorrência de scheelite em bancadas de rochas calco-silicatadas das zonas de Rocamondo e de Freches (carta geológica 18-A). Estas rochas constituem um conjunto grosseiramente paralelo com direcções N70°W verticais a sub-verticais.

Mineralogicamente trata-se de rochas com textura granoblástica a porfiroblástica essencialmente constituídas por plagioclase, clinopiroxena diopsídica e anfíbola, a que se associam idocrase e granada. Acessoriamente estão presentes esfena, zoizite, clinozoizite, apatite e opacos. A scheelite ocorre em quase todas as rochas em pequenos grãos.

A formação e evolução das rochas calco-silicatadas estará relacionada com acções de metamorfismo de contacto exercidas pelo granito no seio do qual se localizam os retalhos xistosos que englobam os níveis estudados.

A mineralização scheelítica ocorre normalmente disseminada no seio da rocha escarnítica, parecendo tratar-se de ocorrências pobres do ponto de vista económico não só pela irregularidade da mineralização como também pelo seu grau de finura.

Synopsis of articles published in «Técnica» n.° 443

LII — October 1977

U. D. C. 621.389:537.311

H. J. S. ABREU SANTOS

THE NUMERICAL SIMULATION OF THE MAXWELL-BOLTZMANN, BOSE-EINSTEIN AND FERMI-DIRAC STATISTICS, BASED ON A PSEUDORANDOM NUMBER GENERATOR

Técnica N.° 443 — LII — 10-1977, p. 19 a 38

A comparative study of the obtention of the distribution functions corresponding to the Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein and Fermi-Dirac statistics is done by numerical simulation on the domain of the small populations of particles. It is an application of the Monte-Carlo methods to the simulation of a non-deterministic process, that of the random colisions of a population of particles, using a pseudo-random number generator. Results are presented of the obtention of the equilibrium situation for populations of particles of the same type, such as Planck's radiation law, as well as for different particles, like electrons and phonons.

U. D. C. 552.1.067.1

A. F. FERREIRA PINTO
A. F. BARROS

OCCURRENCE OF SCHEELITE IN CALCO-SILICATE ROCKS FROM VILA FRANCA DAS NAVES AREA

Técnica N.° 443 — LII — 10-1977, p. 39 a 45

The calc-silicate rocks are concordant with the schists which are orientated N 70°W vertical to sub-vertical.

These rocks have a granoblastic to porphyroblastic texture and they contain plagioclase, diopsidic clinopyroxene, amphibole and some idocrase and garnet. The following accessory minerals were also found: sphene, zoisite, clinozoisite, apatite and opacs. Scheelite was found in small grains in most of the rocks studied.

Some big schist xenoliths occur inside the granite of the area and it is thought that the scheelite mineralization and the last part of the evolution of the calc-silicate rocks is related to the effects of the granite contact metamorphism.

The scheelite generally occurs in small scattered grains in skarns, so it seems that the economic interest of this mineralization will be small.

U. D. C. 378.962.4:550.8[624/628]

L. AIRES-BARROS
J. F. PINHARANDA

TEACHING OF GEOLOGY AT I.S.T. TO CIVIL ENGINEERING STUDENTS. EVOLUTION AND PROSPECTIVE VISION

Técnica N.° 443 — LII — 10-1977, p. 1 a 6

The authors present a summary of the evolution of the teaching of Geology to Civil Engineering students at Instituto Superior Técnico (I. S. T.) during the last 20 years.

After this they present their prospective vision on the teaching of Geology and Engineering Geology for that students. The aims of this teaching and the problems regarding the need of a balanced knowledge of the fundamentals of Geology, their methodologies and their applications to concrete problems of civil engineering are pointed out. The main bases considered in order to program the Geology course to Civil Engineering students are presented in diagramatic form where scientific and technical fields required for the resolution of problem of engineering geology are refered.

Some comments on examinations are also refered.

U. D. C. 627.82:627.89

J. LAGINHA SERAFIM

RUPTURE OF DAMS DURING 1976. RUPTURE OF TETON DAM

Técnica N.° 443 — LII — 10-1977, p. 7 a 17

This paper concerns the rupture of dams during 1976 and continues the work presented by the author in 1960 at the LNEC (National Laboratory of Civil Engineering) on the same subject. Descriptions of ruptures of relatively small dams (above 15 m) in North Carolina, Pakistan and Norway are presented. Most of the paper concerns the rupture of the Teton Dam in the United States in June, 1976. This was the highest dam (103 m) to ever have failed. The sequence of events is presented with photographs. The rupture is attributed to the very pervious rock, the inefficiency of the grout curtains and the existence of a key trench, in which arching was produced, possibly allowing hydraulic fracturing. Piping and subsequent intense erosion of the soil near the rock were certanly major causes.

Resumo dos Artigos publicados na «Técnica» n.º 443

Ano LII — Outubro 1977

C. D. U. 624.04

ALFREDO DE PINHO MORGADO

MÉTODO DIRECTO DE DISTRIBUIÇÃO DE MOMENTOS PARA O CÁLCULO DE ESTRUTURAS SUJEITAS A ESFORÇOS HORIZONTAIS

Técnica N.º 443 — LII — 10-1977, p. 47 a 50

Neste trabalho deduzem-se fórmulas que aplicadas ao método de distribuição de momentos em consola reduzem este a um ciclo para cada nó da estrutura fazendo desaparecer o inconveniente da lenta convergência.

C. D. U. 624.07[012.4]2

J. M. MADEIRA COSTA

BETÃO NORMAL REFORÇADO COM ARMADURA METÁLICA

Técnica N.º 443 — LII — 10-1977, p. 51 a 60

Synopsis of articles published in «Técnica» n.° 443

LII – October 1977

U. D. C. 624.07[012.4]2

J. M. MADEIRA COSTA

NORMAL CONCRETE REINFORCED WITH STEEL

Técnica N.° 443 — LII — 10-1977, p. 51 a 60

U. D. C. 624.04

ALFREDO DE PINHO MORGADO

DIRECT MOMENT DISTRIBUTION FOR STRUCTURES WITH SIDEWAYS

Técnica N.° 443 — LII — 10-1977, p. 47 a 50

The paper works a few formulae to reduce the cantilever moment distribution methode to a cycle for each joint of the structure with sidesway and overcoming the inconvenience of the slow convergence.

técnica

REVISTA DE ENGENHARIA DA ASSOCIAÇÃO DOS ESTUDANTES DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

ÍNDICE POR ASSUNTOS DOS ARTIGOS PUBLICADOS

NÚMERO 435 A 442 VOLUME XXXVIII OUTUBRO DE 1976 A JULHO DE 1977

Artigo	N.º	Data	Pág.
33 — ECONOMIA POLITICA — ECONOMIA			
338 — PRODUÇÃO. CRIAÇÃO DA RIQUEZA. SITUAÇÃO ECONÓMICA			
C. D. U. 338.91:620.9			
Alternativas Energéticas ... *J. J. Delgado Domingos*	437	12-976	169
C. D. U. 338.91:620.9			
Energia, Imperialismos, Independência Nacional ... *António Gaspar* *Rodrigo de Abreu*	440-441	4/5-977	521
C. D. U. 338.984.3.061 (469)			
Algumas considerações sobre o Plano Económico para 1977... ... ... *Marco António Monteiro d'Oliveira*	440-441	4/5-977	515
351 — LEGISLAÇÃO GOVERNAMENTAL. SERVIÇOS PÚBLICOS. INSPECÇÃO. REGULAMENTOS			
C. D. U. 351.823.3			
Reflexão sobre legislação e desenvolvimento mineiros ... ... *Acácio G. de Oliveira* *Adriano Fernando Barros*	442	7-977	575
37 — EDUCAÇÃO			
378 — ENSINO SUPERIOR. UNIVERSIDADES. FACULDADES. ACADEMIAS			
C. D. U. 378			
Reforma do ensino de engenharia. Algumas notas para reflexão... ... ... *J. J. Delgado Domingos*	442	7-977	585
C. D. U. 378/5.001:621 (76)			
Education and research in mechanics in the U.S.A. *R. Mindlin*	435	10-976	1
C. D. U. 378.001(469):62			
Comissão «AD HOC» para o Estudo do Ensino da Engenharia — Relatório Final	440-441	4/5-977	461
C. D. U. 378.962.001:624 (43-15)			
Education and research in mechanics in the Federal Republic of Germany ... *E. Becker*	438	2-977	311
51 — MATEMÁTICA			
512 — ÁLGEBRA			
C. D. U. 512			
Programação linear com relevo para a programação linear inteira e as variáveis booleanas ... ... *José de Matos Lopes Teixeira*	435	10-976	11
C. D. U. 512.8.001.2			
Algumas reflexões sobre representações matriciais de grupos de transformações ... ... *J. C. Conte*	436	11-976	87
513 — GEOMETRIA			
C. D. U. 513.51/55:513.517			
Cónicas. Estudo das principais características a partir da sua equação focal ... ... *F. Peres Rodrigues*	439	3-977	445
C. D. U. 513.75/77:530.12			
Cartas de transformação em relatividade restrita... ... *M. Abreu Faro*	439	3-977	369
C. D. U. 513.75/77:530.12			
Estabelecimento e interpretação física da transformação de Lorentz ... ... *M. Abreu Faro*	438	2-977	283

Artigo	N.º	Data	Pág.

517 — ANALISE. CALCULO EM GERAL

C. D. U. 517:624.04

Some applications of functional analysis in the mathematical theory of structures... ... ... 435 10-976 5
E. R. Arantes Oliveira

C. D. U. 517.43:517.3:518.4

A geometrical and mechanical method to determine lorentz transformations 436 11-976 79
M. Abreu Faro

C. D. U. 517.93:518.1

Aplicação do método explícito-implícito em sistemas de equações parabólicas, não lineares, em domínios de geometria arbitrária 437 12-976 237
J. J. Delgado Domingos
L. F. C. Roriz

518 — METODOS ESPECIAIS DE CALCULO

C. D. U. 518:624.131.522.4

Aplicação da solução do problema de Mindlin na resolução do problema da estaca solicitada por uma força horizontal ... 436 11-976 121
António José Reis
Eduardo Borges Pires

C. D. U. 518.1

O método dos elementos finitos 437 12-976 241
Heitor Lobato Girão Pina

C. D. U. 518.1:517.93

Aplicação do método explícito-implícito em sistemas de equações parabólicas, não lineares, em domínios de geometria arbitrária 437 12-976 237
J. J. Delgado Domingos
L. F. C. Roriz

C. D. U. 518.4:517.43:517.3

A geometrical and mechanical method to determine lorentz transformations 436 11-976 79
M. Abreu Faro

519 — ANALISE COMBINATORIA E ESTATISTICA. CALCULO DAS PROBABILIDADES, ETC.

C. D. U. 519.241.25:551.49

Continuous hydrological time-series discretization . 438 2-977 317
Luís Valadares Tavares

C. D. U. 519.51

Introdução aos conjuntos vagos (Continuação) ... 439 2-977 295
António Gouvêa Portela

53 — FISICA

C. D. U. 530.12:513.75/77

Cartas de transformação em relatividade restrita... ... 439 3-977 369
M. Abreu Faro

C. D. U. 530.12:513.75/77

Estabelecimento e interpretação física da transformação de Lorentz 438 2-977 283
M. Abreu Faro

533 — MECANICA DOS GASES. AEROMECANICA

C. D. U. 533.6.07:621.375.9

The performance of acousto-optic cells for laser-doppler anemometry ... 438 2-977 359
D. F. G. Durão
J. H. Whitelaw

C. D. U. 535.565:621.38

Nota técnica sobre a utilização industrial dos cristais líquidos em dispositivos electroópticos 440-441 4/5-977 483
Pelo Grupo de Cristais Líquidos do I. F. M.

536 — CALOR. TERMODINAMICA

C. D. U. 536.2:66.046.3:664.8.037:621.58:336.24

Simulação numérica da congelação de peixe por circulação forçada de ar ... 437 12-976 215
J. M. Brisson Lopes

C. D. U. 536.24:620.197:697.8

Transferência de calor em regime estacionário em chaminés (análise e resolução numérica) 437 12-976 195
J. M. Brisson Lopes

C. D. U. 536.662:620.93

Fenómenos de combustão com importância em engenharia 437 12-976 187
Mário Nery R. Nina

Artigo	N.º	Data	Pág.
537 — ELECTRICIDADE			
C. D. U. 537.122			
Sobre o problema da difusão de Rutherford ... ... *J. C. Conte*	435	10-976	47
551 — GEOLOGIA GERAL. METEOROLOGIA. CLIMATOLOGIA. ESTRATIGRAFIA. PALEOGEOGRAFIA			
C. D. U. 551.49:519.241.25			
Continuous hydrological time-series discretization... *Luís Valadares Tavares*	438	2-977	317
62 — ENGENHARIA E TECNOLOGIA EM GERAL			
C. D. U. 62:378.001 (469)			
Comissão «AD HOC» para o Estudo do Ensino da Engenharia — Relatório Final...	440-441	4/5-977	461
C. D. U. 62			
O ambiente, a política energética e a alternativa nuclear ... ... *J. J. Delgado Domingos*	442	7-977	527
C. D. U. 62.001			
Planeamento da investigação no sector da engenharia mecânica em Portugal ... ... *J. J. Delgado Domingos*	437	12-976	183
C. D. U. 62.001.6 (09)			
Centro de Termodinâmica Aplicada e Mecânica de Fluidos das Universidades de Lisboa (C. T. A. M. F. U. L.) (Breve resenha sobre a sua criação e evolução) ... ... *J. J. Delgado Domingos*	437	12-976	133
C. D. U. 62.002.1			
Programa para resolução duma rede de actividades pelo método do caminho crítico ... ... *L. F. C. Roriz*	437	12-976	267
C. D. U. 620.197:536.24:697.8			
Transferência de calor em regime estacionário em chaminés (análise e resolução numérica) ... ... *J. M. Brisson Lopes*	437	12-976	195
620.9 — ECONOMIA GERAL DE ENERGIA			
C. D. U. 620.9			
Recursos naturais, economia e sociedade ... ... *J. J. Delgado Domingos*	437	12-976	143
C. D. U. 620.9			
O problema energético português... ... ... *J. J. Delgado Domingos*	437	12-976	159
C. D. U. 620.9:338.91			
Alternativas energéticas ... *J. J. Delgado Domingos*	437	12-976	169
C. D. U. 620.9			
Reflexões sobre a eventual encomenda, em 1977, de uma central nuclear para Portugal ... ... *Domingos Moura*	442	7-977	551
C. D. U. 620.9:338.91			
Energia, imperialismos, independência nacional ... *António Gaspar* *Rodrigo de Abreu*	440-441	4/5-977	521
C. D. U. 620.93:536.662			
Fenómenos de combustão com importância em engenharia ... ... *Mário Nery R. Nina*	437	12-976	187
621 — ENGENHARIA MECÂNICA. ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA			
C. D. U. 621(76):378/5.001			
Education and research in mechanics in the U.S.A. *R. Mindlin*	435	10-976	1
C. D. U. 621-154			
Escoamento potencial bidimensional numa cascata de perfis rectos — método da transformação conforme ... ... *A. J. de Almeida Sarmento* *J. A. Falcão de Campos*	437	12-976	257
C. D. U. 621.018			
A calorimetric experimental furnace ... ... *J. J. Delgado Domingos* *E. Manso* *Mário Nery R. Nina*	437	12-976	191

Artigo	N.º	Data	Pág.
C. D. U. 621.154			
O método das singularidades no estudo tri-dimensional do escoamento em turbomáquinas axiais...	437	12-976	249
A. F. de O. Falcão			
C. D. U. 621.3.018.757:621.317.75			
Transmissão de ruído através dum dispositivo retentor de amostras	436	11-976	97
J. F. Borges da Silva			
J. M. Viegas Gonçalves			
C. D. U. 621.374			
Máquina de turing para converter expressões em notação «Infix» em expressões em notação «Postfix» — II. Atribuição de variáveis de estado, entrada e saída	438	2-977	325
L. T. Magalhães			
M. P. O. Ricou			
C. D. U. 621.374.33			
Algorítmo para obter uma máquina sequencial finita especificada por expressões regulares	439	3-977	399
L. T. Magalhães			
M. P. O. Ricou			
C. D. U. 621.374.33			
Número e comprimento de ciclos no espaço de estados de um registo geral de deslocamento...	439	3-977	439
José Alberto Baptista Tomé			
C. D. U. 621.374.33			
Equivalência cíclica na interacção de registos de deslocamento...	440-441	4/5-977	477
José Alberto Baptista Tomé			
C. D. U. 621.375.9:533.6.07			
The performance of acousto-optic cells for laser-doppler anemometry ...	438	2-977	359
D. F. G. Durão			
J. H. Whitelaw			
C. D. U. 621.38:535.565			
Nota técnica sobre a utilização industrial dos cristais líquidos em dispositivos electroópticos	440-441	4/5-977	483
Grupo de Cristais Líquidos			
C. D. U. 621.382.4			
O transistor — Reactor atómico	438	2-977	335
Benjamim da Conceição Mendonça			
Les circuits électroniques de puissance et leurs modèles	440-441	4/5-977	491
H. Buyse			
C. D. U. 621.397.3			
Projecto, construção e utilização de um «Display» óptico «off-line»...	437	12-976	271
J. J. Delgado Domingos			
J. J. Amarante dos Santos			
M. Quirino			
A. Neves de Carvalho			
C. D. U. 621.47			
Aproveitamento da energia solar em Portugal	437	12-976	175
J. J. Delgado Domingos			
C. D. U. 621.47:621.383			
As células fotovoltaicas no no aproveitamento da energia solar...	437	12-976	223
Leopoldo J. M. Guimarães			
C. D. U. 621.47:621.383			
Células fotovoltaicas	442	7-977	581
António V. B. Gaspar			
C. D. U. 621.50:621-514:621-519:621-52:621.311.2:621.316.72			
Contrôle des systèmes d'énergie dans un ensemble hydro-électrique... ...	439	3-977	407
José Luís de Oliveira Paulo			
C. D. U. 621.58:536.2:66.046.3:664.8.037:336.24			
Simulação numérica da congelação de peixe por circulação forçada de ar ...	437	12-976	215
J. M. Brisson Lopes			

624 — ENGENHARIA CIVIL

C. D. U. 624(43-15):378.962.001			
Education and research in mechanics in the Federal Republic of Germany ...	438	2-977	311
E Becker			

Artigo	N.º	Data	Pág
537 — ELECTRICIDADE			
C. D. U. 537.122			
Sobre o problema da difusão de Rutherford ... ... *J. C. Conte*	435	10-976	47
551 — GEOLOGIA GERAL. METEOROLOGIA. CLIMATOLOGIA. ESTRATIGRAFIA. PALEOGEOGRAFIA			
C. D. U. 551.49:519.241.25			
Continuous hydrological time-series discretization... *Luís Valadares Tavares*	438	2-977	317
62 — ENGENHARIA E TECNOLOGIA EM GERAL			
C. D. U. 62:378.001 (469)			
Comissão «AD HOC» para o Estudo do Ensino da Engenharia — Relatório Final...	440-441	4/5-977	461
C. D. U. 62			
O ambiente, a política energética e a alternativa nuclear ... ... *J. J. Delgado Domingos*	442	7-977	527
C. D. U. 62.001			
Planeamento da investigação no sector da engenharia mecânica em Portugal ... ... *J. J. Delgado Domingos*	437	12-976	183
C. D. U. 62.001.6 (09)			
Centro de Termodinâmica Aplicada e Mecânica de Fluidos das Universidades de Lisboa (C. T. A. M. F. U. L.) (Breve resenha sobre a sua criação e evolução) ... ... *J. J. Delgado Domingos*	437	12-976	133
C. D. U. 62.002.1			
Programa para resolução duma rede de actividades pelo método do caminho crítico ... ... *L. F. C. Roriz*	437	12-976	267
C. D. U. 620.197:536.24:697.8			
Transferência de calor em regime estacionário em chaminés (análise e resolução numérica) ... ... *J. M. Brisson Lopes*	437	12-976	195
620.9 — ECONOMIA GERAL DE ENERGIA			
C. D. U. 620.9			
Recursos naturais, economia e sociedade ... ... *J. J. Delgado Domingos*	437	12-976	143
C. D. U. 620.9			
O problema energético português... ... ... *J. J. Delgado Domingos*	437	12-976	159
C. D. U. 620.9:338.91			
Alternativas energéticas ... *J. J. Delgado Domingos*	437	12-976	169
C. D. U. 620.9			
Reflexões sobre a eventual encomenda, em 1977, de uma central nuclear para Portugal ... ... *Domingos Moura*	442	7-977	551
C. D. U. 620.9:338.91			
Energia, imperialismos, independência nacional ... *António Gaspar* *Rodrigo de Abreu*	440-441	4/5-977	521
C. D. U. 620.93:536.662			
Fenómenos de combustão com importância em engenharia ... ... *Mário Nery R. Nina*	437	12-976	187
621 — ENGENHARIA MECÂNICA. ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA			
C. D. U. 621(76):378/5.001			
Education and research in mechanics in the U.S.A. *R. Mindlin*	435	10-976	1
C. D. U. 621-154			
Escoamento potencial bidimensional numa cascata de perfis rectos — método da transformação conforme ... ... *A. J. de Almeida Sarmento* *J. A. Falcão de Campos*	437	12-976	257
C. D. U. 621.018			
A calorimetric experimental furnace ... ... *J. J. Delgado Domingos* *E. Manso* *Mário Nery R. Nina*	437	12-976	191

Artigo	N.º	Data	Pág.
C. D. U. 621.154			
O método das singularidades no estudo tri-dimensional do escoamento em turbomáquinas axiais...	437	12-976	249
A. F. de O. Falcão			
C. D. U. 621.3.018.757:621.317.75			
Transmissão de ruído através dum dispositivo retentor de amostras	436	11-976	97
J. F. Borges da Silva			
J. M. Viegas Gonçalves			
C. D. U. 621.374			
Máquina de turing para converter expressões em notação «Infix» em expressões em notação «Postfix» — II. Atribuição de variáveis de estado, entrada e saída	438	2-977	325
L. T. Magalhães			
M. P. O. Ricou			
C. D. U. 621.374.33			
Algorítmo para obter uma máquina sequencial finita especificada por expressões regulares	439	3-977	399
L. T. Magalhães			
M. P. O. Ricou			
C. D. U. 621.374.33			
Número e comprimento de ciclos no espaço de estados de um registo geral de deslocamento...	439	3-977	439
José Alberto Baptista Tomé			
C. D. U. 621.374.33			
Equivalência cíclica na interacção de registos de deslocamento...	440-441	4/5-977	477
José Alberto Baptista Tomé			
C. D. U. 621.375.9:533.6.07			
The performance of acousto--optic cells for laser--doppler anemometry ...	438	2-977	359
D. F. G. Durão			
J. H. Whitelaw			
C. D. U. 621.38:535.565			
Nota técnica sobre a utilização industrial dos cristais líquidos em dispositivos electroópticos	440-441	4/5-977	483
Grupo de Cristais Líquidos			
C. D. U. 621.382.4			
O transistor — Reactor atómico	438	2-977	335
Benjamim da Conceição Mendonça			
Les circuits électroniques de puissance et leurs modèles	440-441	4/5-977	491
H. Buyse			
C. D. U. 621.397.3			
Projecto, construção e utilização de um «Display» óptico «off-line»...	437	12-976	271
J. J. Delgado Domingos			
J. J. Amarante dos Santos			
M. Quirino			
A. Neves de Carvalho			
C. D. U. 621.47			
Aproveitamento da energia solar em Portugal	437	12-976	175
J. J. Delgado Domingos			
C. D. U. 621.47:621.383			
As células fotovoltaicas no no aproveitamento da energia solar...	437	12-976	223
Leopoldo J. M. Guimarães			
C. D. U. 621.47:621.383			
Células fotovoltaicas	442	7-977	581
António V. B. Gaspar			
C. D. U. 621.50:621-514:621-519:621--52:621.311.2:621.316.72			
Contrôle des systèmes d'énergie dans un ensemble hydro-électrique... ...	439	3-977	407
José Luís de Oliveira Paulo			
C. D. U. 621.58:536.2:66.046.3:664.8.037:336.24			
Simulação numérica da congelação de peixe por circulação forçada de ar ...	437	12-976	215
J. M. Brisson Lopes			
624 — ENGENHARIA CIVIL			
C. D. U. 624(43-15):378.962.001			
Education and research in mechanics in the Federal Republic of Germany ...	438	2-977	311
E Becker			

Artigo	N.º	Data	Pág.
C. D. U. 624.04:517			
Some applications of functional analysis in the mathematical theory of structures...	435	10-976	5
E. R. Arantes Oliveira			
C. D. U. 624.07(012.4)2			
Betão normal reforçado com armadura metálica	439	3-977	383
	e 440-441	4/5-977	503
J. M. Madeira Costa			
C. D. U. 624.074.2			
Teorias de cascas envolvendo momentos de ordem superior à primeira... ...	436	11-976	113
E. R. Arantes Oliveira			
C. D. U. 624.131.522.4:518			
Aplicação da solução do problema de Mindlin na resolução do problema da estaca solicitada por uma força horizontal...	436	11-976	121
António José Reis			
Eduardo Borges Pires			
C. D. U. 624.131.531.6			
The influence of self-Weight in the stability of cantilever columns	439	3-977	427
António Ressano Garcia Lamas			
C. D. U. 628.5			
Factores do dimensionamento duma chaminé emissora de poluentes	437	12-976	207
M. Teresa Pontes			
656 — SERVIÇOS DE TRANSPORTE E POSTAIS			
C. D. U. 656.1:656.711.3			
Les contraintes physiques et sociales dans la planification à long terme des transports urbains. Zones des grandes agglomérations — Déplacements de personnes	442	7-977	567
Armando Cameira			
658 — ORGANIZAÇAO INDUSTRIAL E COMERCIAL			
C. D. U. 658.012.1:69.002			
Matriz dos coeficientes técnicos da indústria da construção	435	10-976	59
S. Pompeu dos Santos			
66 — INDÚSTRIAS QUIMICAS. TECNOLOGIA QUIMICA			
C. D. U. 66.046.3:536.2:664.8.037:621.58:336.24			
Simulação numérica da congelação de peixe por circulação forçada de ar ...	437	12-976	215
J. M. Brisson Lopes			
662 — EXPLOSIVOS. COMBUSTÍVEIS			
C. D. U. 662.997:697.97			
Elaboração de tabelas de temperatura sol-ar para paredes, para a região de Portugal Continental ...	437	12-976	227
L. F. C. Roriz			
664 — INDÚSTRIAS ALIMENTARES. CONSERVAÇÃO			
C. D. U. 664.8.037:536.2:66.046.3:621.58:336.24			
Simulação numérica da congelação de peixe por circulação forçada de ar ...	437	12-976	215
J M. Brisson Lopes			
69 — CONSTRUÇAO DE EDIFICIOS, MATERIAIS E PROCESSOS DE CONSTRUÇAO			
C. D. U. 69.002:658.012.1			
Matriz dos coeficientes técnicos da indústria da construção	435	10-976	59
S. Pompeu dos Santos			
697 — INSTALAÇÕES DE AQUECIMENTO, VENTILAÇAO E AR CONDICIONADO			
C. D. U. 697.8:536.24:620.197			
Transferência de calor em regime estacionário em chaminés (análise e resolução numérica)	437	12-976	195
J. M. Brisson Lopes			
C. D. U. 697.97:662.997			
Elaboração de tabelas de temperatura sol-ar para paredes, para a região de Portugal Continental ...	437	12-976	227
L. F. C. Roriz			

Publicações Recebidas

PUBLICAÇÕES PERIÓDICAS

— AGROS
Associação dos Estudantes de Agronomia

— ANALLES DE MECANICA Y ELECTRICIDAD
Asociacion de Ingenieros del I. C. A. I.

— ASEA — REVUE

— ACTA TECHNICA
Academiae Scientiarum Hungariae

— ANAIS DO CLUBE MILITAR NAVAL

— ANALYTICAL ABSTRACTS
Society for Analytical Chemistry

— ACIER - STAHL - STELL

— ANNALES
Institut Technique du Batiment et des Travaux Public

— AEG - TELEFUNKEN AL DIA

— AR COMPRIMIDO
Atlas Copco

— BOLETIM DA CAMARA MUNICIPAL DE SA DA BANDEIRA

— BOLETIM ECONÓMICO E FINANCEIRO
Banco Borges & Irmão

— BOLETIM
Instituto Nacional de Investigação Industrial

— BOLETIM MENSAL DE INFORMAÇÃO
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

— BULLETIN OF THE SEISMOGRAPHIC STATIONS
University of California

— BOLETIM DEL CEMENTO PORTLAND
Instituto del Cemento Portland Argentino

— BOLETIM GTH
Gabinete Técnico da Habitação da Câmara Municipal de Lisboa

— BOLETIM
Sociedade Geológica de Portugal

— BOLETIM INFORMATIVO IRANOR
Instituto Nacional de Racionalizacion y Normalizacion

— BOLETIM DA ELECTROQUÍMICA E CORROSÃO
Instituto Nacional de Investigação Industrial

— BOLETIM
Departamento de Imprensa e Informação do Governo da República Federal da Alemanha

— BOLETINUL
Institutului Politehnic Bucaresti

— BOLETIM
Associação Industrial de Angola

— BOLETIM DO PORTO DE LISBOA
Administração-Geral do Porto de Lisboa

— BOLETIM DO SERVIÇO CARTOGRAFICO DO EXÉRCITO

— BOLETIM DE MINAS
Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos

— BULLETIN DE LA CHAMBRE DE COMMERCE BELGE AU PORTUGAL

— BULLETIN
Agence Internationale de L'energie Atomique

— CENIM
Centro Nacional de Investigaciones Metalurgicas

— CORTIÇA
Instituto dos Produtos Florestais

— (JOURNAL OF) CHEMICAL EDUCATION
Division of Chemical Education of the American Chemical Society

— CIMENTO E CONCRETO
Associação Brasileira de Cimento Portland

— COMUNICAÇÕES ELÉCTRICAS
International Telephone and Telegraph Corporation

— CONSTRUCTI

— CARTA GEOLÓGICA DE ANGOLA
Direcção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas

— CEMENTO HORMIGÓN

— COURRIER CERN

— COLLECTION
Czechoslovak Academy of Sciences

— DYNA
Asociacion de Engenieros Industriales de España

— EL ESTAÑO Y SUS APLICACIONES
Tin Research Institute

— ELECERICITE DE FRANCE
Direction des Etudes et Recherches

— ELECTRICIDADE
Empresa Editorial Electrotécnica Edel, Lda.

— ENDEAVOUR
Imperial Chemical Industries Limited

— ESTUDOS
Banco Fomento Nacional

— ESTUDOS, NOTAS E TRABALHOS
Serviço de Fomento Mineiro

— ELECTRICAL COMMUNICATION
International Telephone and Telegraph Corporation

— ECONOMIC REVIEW
Câmara de Comércio Luso-Britânica

— FUNDIÇÃO
Associação Portuguesa de Fundição

— FUNDEXPORT
Fundo de Fomento de Exportação

— GEOTÉCNICA
Revista da Sociedade Portuguesa de Geotécnica

— INFORMES DE LA CONSTRUCCION
Instituto Eduardo Torroja

— ION
Sindicato Nacional de Indústrias Químicas

— INDÚSTRIA DE MOÇAMBIQUE
Associação Industrial de Moçambique

— LA HOUILLE BLANCHE
Société Hydrotechnique de France

— LES NOUVELLES DE L'E. I. B.

— METALLURGIA AND METAL FORMING
National Association of drop Forgers and Stampers

— MACHINE TOOL REVIEW

— NOTICIARIO DOS ELASTOMEROS
du Pont

— ONU (CHRONIQUE MENSUELLE)
Service de l'Information de l'Organization des Nations Unies

— O PROPULSOR
Sindicato Nacional dos Oficiais da Marinha Mercante

— PRELO
Imprensa Nacional - Casa da Moeda

— PORTUGAL - ALEMANHA
Câmara de Comércio e Indústria Luso-Alemã

— REVISTA DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
Universidade de Lourenço Marques

— REVUE LANDIS E GYR (EDITION ELECTRICITÉ

— REVUE D'IENA

— REVUE SIEMENS
Siemens Antiengesellschaft

— REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

— LA REACHERCHE AÉROSPATIALE
Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales

— REVISTA DE METALURGIA
Cenim - Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas

— RAIL INTERNATIONAL
Association Internationale du congrès des chemins de fer et de L'Union Internationale des Chemins de fer

— REVISTA TÉCNICA SULZER

— REVISTA DANFOSS

— REVISTA AGRONÓMICA
Sociedade de Ciências Agronómicas de Portugal

— TECHNIQUES FRANÇAISES (BATIMENT TRAVAUX PUBLICS URBANISME)
Services Économiques de L'Embassade de France

— TECHNIQUES FRANÇAISES (INDUSTRIE DE METAUX)
Services Économiques de L'Embassade de France

— TECHNIQUES FRANÇAISES (TRANSPORTS)
Services Économiques de L'Embassade de France

— TECHNIQUES FRANÇAISES (CHIMIE GAZ PETROLE BIENS DE CONSOMMATION)
Services Économiques de L'Embassade de France

— WORLD HEALTH ORGANIZATION PUBLICATIONS
World Health Organization

— WISSENSCHAFTLICHE ZEITSCHRIFT DER HOCSCHULE
Architektur und Bauwesen Weimar

BIBLIOTECA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA LISBOA

OFERTA

Edições da Técnica

TABELA DE PREÇOS

TABELAS PARA O CÁLCULO DO BETÃO ARMADO

Brazão Farinha, 6.ª edição — 1970 . . . 450$00

TOPOGRAFIA GERAL

C. Xerez — 1.º vol. 2.ª edição — 1970 . . (*)

C. Xerez — 2.º vol. 2.ª edição — 1966 . . 250$00

TABELAS TÉCNICAS

Vicente Ferreira e Brazão Farinha, 8.ª edição 1977 500$00

MANUAL DE HIDRÁULICA GERAL

A. Lencastre, 2.ª edição — 1969 . . . . 450$00

DICIONÁRIO DE UNIDADES E TABELAS DE CONVERSÃO

Vasco Costa e Osvaldo Francês, 1.ª edição — 1959 75$00

NÚMEROS E VARIÁVEIS COMPLEXAS

A. H. Simões de Abreu, 1.ª edição 1977 . . 312$50

GUIA DE ANÁLISE QUÍMICA DAS ÁGUAS

A. Herculano de Carvalho, 1.ª edição — 1961 150$00

CÁLCULO DE PÓRTICOS

G. Kani — Trad. da 7.ª edição alemã — 1962 100$00

MANUAL DE ESTRUTURAS

Brazão Farinha — 1.º VOLUME

Encadernado . . . . . 625$00

Plastificado . . . . . 587$50

2.º e 3.º Volumes . . . . . (*)

BETÃO PREESFORÇADO

(A cargo dos participantes na Semana de Betão Preesforçado — I. S. T. — 1975) . . (*)

(*) LIVROS A PUBLICAR BREVEMENTE

Desconto de 10% aos assinantes

PEDIDOS À técnica

Já à Venda

Números e Variáveis Complexas

1.ª EDIÇÃO – 1977

Eng.º A. H. Simões de Abreu

Tabelas Técnicas

8.ª EDIÇÃO – 1977

Eng.º Vicente Ferreira e Eng.º Brazão Farinha